



**MERI Nro 18, 1990**

**ITÄMERESSÄ ESIINTYVÄT MYRKYLLISET  
SINI- JA PANSSARISIIMALEVÄT**  
Kirjallisuusselvitys

**Sanna Tanskanen**

**MERENTUTKIMUSLAITOS**  
Helsinki



MERI No. 18, 1990

ITÄMERESSÄ ESIINTYVÄT MYRKYLLISET  
SINI- JA PANSSARISIIMALEVÄT

Kirjallisuusselvitys

Osa I Myrkylliset sinilevät (Cyanophyceae)

Osa II Panssarisiimalevien (Dinophyceae) aiheuttamat myrkytykset

Sanna Tanskanen

Helsinki 1990

ISBN 951-47-3465-3

ISSN 0356-0023

HAKAPAINO OY, HELSINKI 1990



# ITÄMERESSÄ ESIINTYVÄT MYRKYLLISET SINI- JA PANSSARISIIMALEVÄT

## SISÄLLYSLUETTELO

### OSA I: MYRKYLLISET SINILEVÄT (CYANOPHYCEAE)

ESIPUHE	7
1. JOHDANTO	8
2. ITÄMEREN SINILEVÄKUKINNAT	10
3. ANABAENA FLOS-AQUAE	11
3.1 Yleistä	11
3.2 Esiintyminen Itämeressä	11
3.3 Myrkyt ja myrkytysoireet	12
3.4 Muita Itämeressä esiintyviä potentiaalisesti myrkyllisiä Anabaena-lajeja	13
4. APHANIZOMENON FLOS-AQUAE	13
4.1 Yleistä	13
4.2 Esiintyminen Itämeressä	13
4.3 Myrkyt ja myrkytysoireet	13
5. MICROCYSTIS AERUGINOSA	14
5.1 Yleistä	14
5.2 Esiintyminen Itämeressä	14
5.3 Myrkyt ja myrkytysoireet	14
6. NODULARIA SPUMIGENA	16
6.1 Yleistä	16
6.2 Esiintyminen Itämeressä	16
6.3 Myrkyt ja myrkytysoireet	16
7. OSCILLATORIA AGARDHII	17
7.1 Yleistä	17
7.2 Esiintyminen Itämeressä	17
7.3 Myrkyt ja myrkytysoireet	17
7.4 Muita Itämeressä esiintyviä potentiaalisesti myrkyllisiä Oscillatoria-lajeja	20
8. MUITA ITÄMERESSÄ ESIINTYVIÄ TOKSISIA SINILEVIÄ	20
8.1 Coelosphaerium kuetzingianum	20
8.2 Gloeotrichia echinulata	20
8.3 Gomphosphaeria lacustris	20
9. ITÄMEREN ALUEELLA TAPAHTUNEISTA LEVÄMYRKYTYKSISTÄ	20
10. KIRJALLISUUS	21

## OSA II: PANSSARISIIMALEVIEN (DINOPHYCEAE) AIHEUTTAMAT MYRKYTYKSET

1.	JOHDANTO	29
2.	PSP (PARALYTIC SHELLFISH POISONING)	31
2.1	Yleistä	31
2.2	Myrkyt ja myrkytysoireet	31
2.3	Esiintyminen Itämeressä	32
3.	DSP (DIARRHETIC SHELLFISH POISONING)	33
3.1	Yleistä	33
3.2	Myrkyt ja myrkytysoireet	33
3.3	Esiintyminen Itämeressä	34
4.	VENERUPIN (VSP)	35
5.	NSP (NEUROTOXIC SHELLFISH POISONING)	35
6.	CIGUATERA	36
7.	GYRODINIUM AUREOLUM -MYRKYTYS	36
8.	ITÄMEREN ALUEELLA HAVAITUISTA LEVÄMYRKYISTÄ JA -MYRKYTYKSISTÄ	38
9.	KIRJALLISUUS	38

## ITÄMERESSÄ ESIINTYVÄT MYRKYLLISET SINI- JA PANSSARISIIMALEVÄT

### KIRJALLISUUSSELVITYS

Sanna Tanskanen

Merentutkimuslaitos  
PL 33  
00931 HELSINKI

### TIIVISTELMÄ

Kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan Itämeressä esiintyviä myrkyllisiä sinileviä sekä panssarisiimalevien aiheuttamia myrkytyksiä. Lisäksi käsitellään lyhyesti Itämeren sinileväkukintojen dynamiikkaa.

Itämeressä esiintyvät seuraavat myrkyllisiksi todetut lajit: *Anabaena circinalis*, *A. cylindrica*, *A. flos-aquae*, *A. spiroides*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Gloetrichia echinulata*, *Gomphosphaeria lacustris*, *Microcystis aeruginosa*, *Nodularia spumigena*, *Oscillatoria agardhii*, *O. agardhii* var. *isothrix*. Kirjallisuusselvitykseen on koottu tietoja näiden levien aiheuttamien sinilevämyrkytysten oireista sekä tunnettujen myrkkujen rakenteesta. Itämeren osalta on kartoitettu levien ja myrkytystaustusten levinneisyys.

Panssarisiimalevien on todettu aiheuttavan seuraavia myrkytyksiä: PSP (Paralytic shellfish poisoning), DSP (Diarrhetic shellfish poisoning), VSP (Venerupin shellfish poisoning), NSP (Neurotoxic shellfish poisoning), Ciguatera, *Gyrodinium aureolum* -myrkytys. Kirjallisuusselvitykseen on koottu tietoja eri myrkytyksiä aiheuttavista levistä, myrkkujen rakenteesta sekä myrkytysoireista. Itämeren osalta on kartoitettu myrkyllisten panssarisiimalevien levinneisyys ja alueella havaitut levämyrkyt ja -myrkytykset.

Asiasanat: sinilevät, syanobakteerit, dinoflagellaatit, myrkylliset levät, toksiset levät, Itämeri, levämyrkytykset

### ABSTRACT

The literature review considers the toxic blue-green algae in the Baltic Sea and the poisonings caused by dinoflagellates in other sea areas. The dynamics of the blue-green algae blooms is considered briefly.

Following toxic blue-green algae occur in the Baltic Sea: *Anabaena circinalis*, *A. cylindrica*, *A. flos-aquae*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Gloetrichia echinulata*, *Gomphosphaeria lacustris*, *Microcystis aeruginosa*, *Nodularia spumigena*, *Oscillatoria agardhii*, and *O. agardhii* var. *isothrix*. The literature review summarizes the knowledge about the symptoms of algal poisonings and the structure of toxins. The spatial distribution of algae and poisonings is reviewed.

Poisonings caused by dinoflagellates fall into groups: PSP (Paralytic shellfish poisoning), DSP (Diarrhetic shellfish poisoning), VSP (Venerupin shellfish poisoning), NSP (Neurotoxic shellfish poisoning), Ciguatera, *Gyrodinium aureolum* poisoning. The review summarizes the knowledge about toxic algae and the symptoms and structure of the toxins. The aerial distribution of toxic dinoflagellates as well as toxins and poisoning in the Baltic Sea are reported.

**Key words:** blue-green algae, Cyanobacteria, Dinoflagellata, dinoflagellates, toxic algae, Baltic Sea, algal poisonings, literature review



## ESIPUHE

Myrkyllisiä leväkukintoja tiedetään esiintyneen Itämeressä jo viime vuosisadalla. Vesien revevöitymisestä johtuva haitallisten leväkukintojen lisääntyminen sekä tutkimusmenetelmien parantuminen ovat viime vuosina lisänneet myrkyllisiin leviin kohdistuvaa kiinnostusta niin tutkijoiden kuin yleisönkin puolelta.

Järjestelmällinen myrkyllisten levien tutkimus on Itämeren ympärysvaltioissa aloitettu 1980-luvulla, Suomessa pääasiassa Helsingin yliopiston mikrobiologian laitoksella ja Åbo Akademiassa. Tutkimusprojektit on toteutettu yhteistyössä mm. Merentutkimuslaitoksen ja vesi- ja ympäristöhallituksen kanssa. Itämeren myrkylliset, kukintoja muodostavat levälajit ovat olleet näiden tutkimusten kohteena alusta alkaen. 1980-luvulla tehtyjen leväkukintojen toksisuuteen liittyvien perusselvitysten jälkeen on Merentutkimuslaitoksen tavoitteena selvittää mm. ympäristötekijöiden vaikutusta myrkyllisyyteen ja myrkyllisten levälajien esiintymiseen.

Tämän kirjallisuusselvityksen tavoitteena on tuottaa taustatietoa em. tutkimuksille. Selvityksessä on kartoitettu Itämeressä esiintyviä potentiaalisesti myrkyllisiä leviä ja selvitetty niiden myrkyllisyyteen liittyvä tutkimuksia. Itämeren murtovesiluonteesta johtuen siellä esiintyy sekä makean, suolaisen että murtoveden lajeja. Myrkyllisiä leviä sisältävistä leväluokista selvityksessä on käsitelty kaksi tärkeintä: sinilevät (Cyanophyceae), joihin kuuluvat levät ovat pääosin makean veden lajeja ja panssarisiimalevät (Dinophyceae), joihin kuuluvat myrkylliset levät ovat pääosin meri- tai murtovesilajeja. Myrkyllisiä lajeja esiintyy, joskin vähäisemmässä määrin, myös muissa leväluokissa (esim. piilevät, tarttumalevät).

## OSA I: MYRKYLLISET SINILEVÄT (CYANOPHYCEAE)

### 1. JOHDANTO

Sinilevät ovat rakenteeltaan ja biokemiallisilta ominaisuuksiltaan lähempänä bakteereita kuin leviä; niiltä puuttuu mm. solukelmun ympäröimä tuma. Ekologiselta kannalta sinilevät ovat kuitenkin lähempänä leviä kuin bakteereita, minkä johdosta niitä yleensä käsitellään osana kasviplanktonia.

Leväkukintoja muodostavista sinilevistä on olemassa myrkyllisiä kantoja, jotka mas-  
saesiintymien aikana voivat aiheuttaa myrkytyksiä koti- ja villieläimille, eläinplanktonille, simpukoille ja kaloille. Myrkyllisten levien vaikutukset eläinplanktoniin näyttävät olevan lajispesifisiä: osalla eläinplanktonlajeista on myrkytysoireita, jotka ilmenevät vähentyneenä suodatustehokkuutena ja kasvaneena kuolleisuutena, ja osaan eläinplanktonia levämyrkyillä ei ole vaikutusta (Lampert 1981, 1982, Carlson & Schoenberg 1983, Nizan & al. 1986, Fulton & Paerl 1987, Fulton 1988). Sinileväkukinnat aiheuttavat ihmisille myrkytysvaaran esiintyessään raakavesilähteissä (Tideström & Rennerfelt 1986). Myrkyt vaikuttavat jouduttuaan ruuansulatuskanavaan juomaveden tai ravinnon välityksellä. Myrkytyksiä aiheuttaa myös uiminen leväpitoisessa vedessä, mikäli eläin sen jälkeen nuolee märkää turkkiaan. Sinilevämyrkytykset ovat olleet tunnettuja jo pitkään; varhaisimmat tiedetyt dokumentit sinilevien aiheuttamista kotieläinmyrkytyksistä ovat 1800-luvulta (Francis 1878).

Myrkyllisiä sinileväkantoja on todettu vähintään 14:ssä eri suvussa (taulukko 1). Yleisimmin myrkyllisiä leväkukintoja muodostavat *Microcystis*-, *Anabaena*-, *Aphanizomenon*-, *Nodularia*- ja *Oscillatoria*-suvut (Schwimmer & Schwimmer 1968, Scott & al. 1981, Carmichael 1982, Keleti & Sykora 1982, Moore 1984, Skulberg & al. 1984, 1986, Carmichael & al. 1985, Hawkins & al. 1985, Skulberg 1988). Myrkyllisiä leväkukintoja on havaittu kaikissa maanosissa, mm. Euroopassa yhdessätoista maassa. Pohjoismaissa havaintoja on kaikista valtioista lukuunottamatta Islantia. Myrkyllisten sinilevien tutkimus on vielä vähäistä, minkä johdosta tiedot myrkyllisistä kukinnoista ovat puutteellisia ja tuskin vastaavat kukintojen todellista esiintymislaajuutta. Myrkyllisiä leväkukintoja on huomattavasti enemmän kuin myrkytystapausten perusteella voisi olettaa (Carmichael & al. 1985). Norjassa ja Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan noin puolet makeiden vesien sinileväkukinnoista on toksisia (Skulberg & Underdal 1983, Sivonen & al. 1988, 1989d).

Sinileväkukintoja esiintyy pääasiassa makeissa vesissä, vähemmässä määrin murto- ja merivesissä. Syitä kukintojen myrkyllisyyteen ei tiedetä, mutta kukintojen syntymistä suosivina tekijöinä pidetään korkeaa veden lämpötilaa (15-30 °C), kohonnutta ravinnepitoisuutta sekä yli kuuden pH-arvoa (Skulberg & al. 1984, Carmichael 1988). Ilmastoltaan lauhkeilla alueilla leväkukintoja esiintyy loppukesästä, jolloin veden lämpötila on korkeimmillaan. Leväkukinnassa voi esiintyä yhtäaikaan samasta lajista myrkyllisiä ja myrkyttömiä kantoja (Carmichael & Gorham 1981, Carmichael & al. 1985).

Taulukko 1. Myrkyllisiksi todetut sinilevät. (Lähde: Schwimmer & Schwimmer 1968 (1), May & McBarron 1973 (2), Moore 1981 (3), Scott & al. 1981 (4), Keleti & Sykora 1982 (5), Skulberg & Underdal 1983 (6), Moore 1984 (7), Skulberg & al. 1984 (8), Carmichael & al. 1985 (9), Hawkins & al. 1985 (10), Skulberg & al. 1986 (11), Keijola & al. 1988 (12), Skulberg 1988 (13).

Laji	Lähde
<i>Anabaena catenula</i> (Kutzing) Bornet & Flahault	1
<i>A. circinalis</i> Rabenh.	2
<i>A. cylindrica</i> Lemmermann	1, 5
<i>A. flos-aquae</i> (Lyng.) Brebisson	1, 8, 9
<i>A. lemmermannii</i> P. Richter	1
<i>A. spiroides</i> Klebahn	8
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs	1, 8, 9
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli	1
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenaya & Subba Rao	10
<i>Gloetrichia echinulata</i> (J. S. Smith) Richter	6
<i>G. pisum</i> (Agardh) Thuret	1
<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat	6
<i>Lyngbya birgei</i> G. M. Smith	1
<i>L. majuscula</i> Harvey	7, 8, 9
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kutzing) Kutzing	1, 8, 9
<i>M. aeruginosa</i> f. <i>aeruginosa</i> (M. <i>toxica</i> ) Elankia	1, 4
<i>M. flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner	1
<i>M. viridis</i> (A. Br.) Lemmermann	13
<i>M. wessenbergii</i> (Komarek) Starmach	11, 12
<i>Nodularia spumigena</i> Mertens	1, 8, 9
<i>Nostoc rivulare</i> Kutzing	1
<i>Oscillatoria agardhii</i> Gomont	1, 8, 9
<i>O. agardhii</i> var. <i>isothrix</i> Skuja	8
<i>O. brevis</i> (Kutzing) Gomont	5
<i>O. formosa</i> Bory	13
<i>O. nigroviridis</i>	3, 8, 9
<i>O. rubescens</i> Gomont	8
<i>Synechocystis</i> sp. Sauvageau	9
<i>Schlothrix calcicola</i> (Agardh) Gomont	3, 8, 9
<i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg	6

Levämyrkyjä ovat levien erittämät myrkylliset aineet, eksotoksiinit. Sinilevien tuottamat myrkyt voidaan pääosin jakaa hermo- ja maksatoksiineihin. Hermotoksiinit ovat rakenteeltaan alkaloidoja ja pääasiassa niitä tuottavat *Aphanizomenon*- ja *Anabaena*-lajit (Carmichael 1988, Sivonen & al. 1989a). Maksatoksiinit ovat rakenteeltaan peptidejä. Merissä esiintyvien sinilevien on havaittu tuottavan myös myrkyllisiä fenolilyhdisteitä (Carmichael & al. 1985). Vain muutamien myrkyjen kemiallinen rakenne on selvitetty. Taulukkoon 2 on kerätty tietoja myrkyllisten yhdisteiden kemiallisesta luonteesta.

Levämyrkyjen lisäksi myrkytysoireita voivat aiheuttaa soluseinän rakenneosina olevat lipopolysakkaridit (LPS-endotoksiinit). Ne ovat tyypillisiä myös monille muille gramnegatiivisille bakteereille. LPS-endotoksiinit aiheuttavat ihmisille mm. kuumetta, pahoinvointia ja ripulia. Oireita, jotka johtuvat uimisesta leväpitoisessa vedessä, kutsutaan ns. kylpyläkuumeeksi (Keleti & Sykora 1982).

Taulukko 2. Yhteenveto tunnetuista levämyrkyistä (Gorham & Carmichael 1979, 1980, 1988, Skulberg & al. 1984, Eriksson & al. 1986, 1988a,b).

Laji	Myrkkä	Yhdiste
Anabaena flos-aquae	anatoksiini-a anatoksiini-a(s)	alkaloidi tuntematon
Aphanizomenon flos-aquae	afantoksiini saksitoksiini	alkaloidi alkaloidi
Lyngbya majuscula	lyngbyatoksiini-a debromoaplysiatoksiini	alkaloidi fenoli
Microcystis aeruginosa	mikrokystiini	peptidi
Nodularia spumigena	nodulariatoksiini	peptidi
Oscillatoria agardhii	oscillariatoksiini	peptidi

Levistä ei voi päältäpäin todeta niiden myrkyllisyyttä. Nykyisin luotettavimpina myrkyllisyystesteinä pidetään hiirillä suoritettuja testejä. Hiiritesteissä myrkyllistä leväkukintaa tai siitä tehtyä uutetta annetaan hiirille joko juomaveden mukana tai vatsaonteloon injektoimalla ja sen aiheuttamia oireita mm. latenssiaikaa, käytöstä, kuolevuutta ja patologisia muutoksia tarkkaillaan. Hiirikokeita korvaavia nopeampia, spesifisempiä ja herkempiä testejä pyritään kehittämään. Maksamyrkköjen aiheuttamiin solumuutoksiin perustuen on tutkimuksissa käytetty rotan maksasoluja, joiden solukalvovaurioiden perusteella myrkyllisyys voidaan havaita (Aune & Berg 1986). Punasolujen agglutinoitumiseen perustuvia menetelmiä on myös tutkittu (Carmichael & Bent 1981, Gorham & al. 1982). Myrkkytutkimuksissa käytetään myös suuren erotuskyvyn nestekromatografiamenetelmää (HPLC), jonka avulla voidaan havaita esimerkiksi 50 kertaa pienemmät mikrokystiini-pitoisuudet kuin hiiritesteillä. Menetelmän avulla voidaan määrittää vain tunnettujen myrkköjen pitoisuuksia (Alam & al. 1978, Watanabe & Oishi 1982, Brooks & Codd 1986, Keijola & al. 1988, Meriluoto 1988).

## 2. ITÄMEREN SINILEVÄKUKINNAT

Itämeren planktonsuknessioon kuuluu loppukesällä ja syksyllä (heinä-syyskuussa) tyypeä sitovien heterokystisten sinilevien kukinta avomerellä. Kukintaa stimuloivat matala N/P-suhde, korkea fosforipitoisuus, korkea lämpötila ja säteily määrä. Kukintoja muodostuu mm. silloin, kun kumpuamisen seurauksena tuottavaan kerrokseen tulee fosforipitoista talvivettä (Niemi 1979, Edler & al. 1982, Niemi 1982).

Sinileväkukinnat kuuluvat Itämeren normaaliin vuotuiseseen planktonsuknessioon ja niistä on tehty havaintoja jo viime vuosisadalla. Vaikka tarkkaa kuvaa leväkukintojen frekvenssistä on vaikea saada, on tutkijoiden yleinen näkemys, että sinilevien massaesiintymät ovat yleistyneet ja runsastuneet viime vuosikymmeninä (Melvasalo & al. 1981, Plinski 1983).

Kukintojen dominoivina lajeina ovat *Nodularia spumigena* ja *Aphanizomenon flos-aquae*, sekä niitä vähäisemmässä määrin *Anabaena flos-aquae* f. *lemmermannii* (*A. lemmermannii*). Sinileväkukintojen aikaansaamalla typen sitomisella on merkittävä osuus Itämeren typpibudjetissa (Rinne & al. 1978, 1979, 1981, 1984, 1986, Melvasalo & al. 1982, Sörensen & Sahlsten 1987). Tyypeä sitovien sinilevien kukintoja esiintyy koko Itämeren alueella lukuun ottamatta Perämeren. Perämerellä kukintoja ei esiinny johtuen siellä

vallitsevasta korkeasta N/P-suhteesta ja matalasta fosforipitoisuudesta, sekä mahdollisesti matalasta lämpötilasta (Niemi 1979, 1982, Rinne & al. 1981).

*Nodularia spumigena* esiintyy tyypillisesti avomerialueella. Se näyttää olevan riippuvaisempi korkeasta veden lämpötilasta kuin *Aphanizomenon flos-aquae*, sillä *A. flos-aquae*n kukintojen on havaittu esiintyvän myöhemmin syksyllä tai sijaitsevan syvemmällä eufoottisessa kerroksessa, jopa lähellä halokliinia. Varsinaisella Itämerellä ja Suomenlahdella esiintyy pintavedessä voimakkaita *N. spumigena* -kukintoja heinä-elokuussa, kun pintaveden lämpötila on korkeimmillaan. Samanaikaisesti esiintyvät *A. flos-aquae* populaatiot ovat tiheimmillään n. 15 m syvyydessä (Rinne & al. 1979, 1981, 1984, Niemistö & al. 1989).

Eutrofituneissa rannikkovesissä sinileväkukintoja muodostaa kesällä *Oscillatoria agardhii*. Kukinnoissa *O. agardhii* on yleensä dominoiva, ja sen biomassaosuus voi olla jopa 95 %. Satunnaisesti voi rannikkovesien kukintoja dominoida myös *Microcystis reinboldii* (Melvasalo 1971, Niemi 1972, Melvasalo & Viljamaa 1977, Alasaarela 1979, Persson 1981, Niemi 1982). *O. agardhii* -kukintoja on havaittu myös Perämeren eutrofituneilla rannikkoalueilla mm. Oulun edustalla (Alasaarela 1979). Vuonna 1987 havaittiin Suomenlahdella poikkeuksellinen *Microcystis aeruginosa* -kukinta (Niemi 1988).

### 3. ANABAENA FLOS-AQUAE

#### 3.1. Yleistä

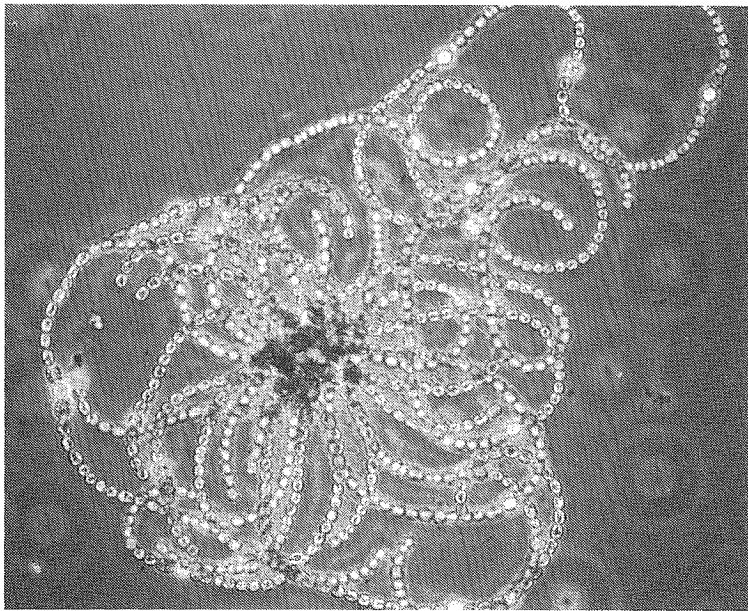
*Anabaena*-suku kuuluu sinilevien Nostocales-lahkoon, joka koostuu rihmamaisista sinilevivistä. *Anabaena flos-aquae*n helminauhaa muistuttavat levärihmat muodostuvat pyöreähköistä soluista ja keskellä rihmoja sijaitsevista heterokysteistä ja kestosoluista (kuva 3, a). Rihmat esiintyvät yksin tai löyhähkönä vyyhtinä. *A. flos-aquae* on eutrofituneita vesiä suosiva makean veden laji, jolle on tyypillistä leväkukintojen muodostaminen.

Myrkyllisistä *Anabaena*-kukinnoista on runsaasti havaintoja mm. Yhdysvalloista ja Australiasta (Gorham & al. 1964, Carmichael & Gorham 1978, McBarron & al. 1975). Myrkyllisinä lajeina pidetään seuraavia: *Anabaena circinalis*, *A. cylindrica*, *A. flos-aquae*, *A. lemmermannii*, ja *A. spiroides*. Vain *Anabaena flos-aquae*sta on tehty tarkempia myrkytutkimuksia.

Itämeressä esiintyy *A. flos-aquae*n muoto *A. flos-aquae* f. *lemmermannii* (*A. lemmermannii*) (kuva 1) ja Suomen sisävesissä *A. flos-aquae* f. *flos-aquae*, joskin *A. flos-aquae* f. *lemmermannii* muotoa on tavattu myös sisävesissä (Liisa Lepistö, vesi- ja ympäristöhallitus, suull. tied.). Kaikki kasviplanktonitutkijat eivät erota niitä eri muodoiksi (esim. Tikkanen 1986).

#### 3.2. Esiintyminen itämeressä

*Anabaena flos-aquae* f. *lemmermannii* esiintyy murtovedessä, joskin kasvava suolapitoisuus rajoittaa sen esiintymistä. Itämeressä esiintymisalue kattaa varsinaisen Itämeren pohjoisosan, Suomenlahden ja Pohjanlahden (Edler & al. 1984). Esiintyminen painottuu Itämerelle tyypillisiin loppukesän ja syksyn (heinä-syyskuu) sinileväkukintoihin, joiden dominoivina lajeina ovat *Aphanizomenon flos-aquae* ja *Nodularia spumigena* (Horstmann 1975, Edler & al. 1982, Plinski 1983, Rinne & al. 1984, 1986).



Kuva 1. *Anabaena flos-aquae* f. *lemmermannii*. Näyte Suomenlahdelta. (500 x suurennos, kuva M. Huttunen).

### 3.3. Myrkyt ja myrkytysoireet

Ensimmäisen kerran myrkyllinen *Anabaena flos-aquae* -kanta eristettiin leväkukinnasta 1960-luvulla. Myrkyllinen *A. flos-aquae* -kanta tappoi vatsaonteloon injektoiduna hiiren 1-4 minuutissa (Gorham & al. 1964). Devlin & al. (1977) selvittivät myrkyntä rakenteen (alkaloidi ( $C_{10}H_{15}NO$ )) ja nimesivät sen antx-a:ksi (anatoksiini-a).

Myöhemmin on antx-a:n lisäksi löydetty eri leväkannoista viisi muuta *A. flos-aquae* -myrkyä (antx-a(s), -b, -b(s), -c, -d), jotka erotettiin toisistaan niiden roille ja hiirille aiheuttamien erilaisten oireiden perusteella (mm. hengissäselviämisaika, syljen ja kyynelnesteen erityys). Rakenteellisia eroja eri myrkkujen välillä ei ole kyetty selvittämään, koska osa leväkannoista on menettänyt kasvatuksissa myrkyllisyytensä tai muuttunut maksatoksiksi. Nykyisissä tutkimuksissa on käytössä vain antx-a- ja antx-a(s)-myrkyjä tuottavat kannat (Carmichael & Gorham 1978, Carmichael 1988).

Antx-a on kemialliselta rakenteeltaan tunnettu alkaloiditoksiini (Devlin & al. 1977), joka vaikuttaa hermolihaan estäen liikepotentiaalin johtumisen hermossa. Tyypillistä myrkyllisyydelle on nopea, vain muutamien minuuttien vaikutusaika. Kuolema aiheutuu hengityksen pysähtymisestä, mitä edeltää lievä vapina ja kouristukset (Carmichael & al. 1975). Antx-a:ta sisältävän kylmäkuivatun leväkannan LD<sub>min</sub> (pienin tappava annos) on 0.3 mg/kg (hiirille) (Devlin & al. 1977). Antx-a(s)-rakenteen selvittäminen on vielä kesken, mutta se poikkeaa antx-a:n rakenteesta. Antx-a(s):n aiheuttamat oireet eroavat mm. runsaan kyynelnesteen ja syljen erityksen puolesta antx-a:n oireista (Carmichael 1988). Todennäköisesti *Anabaena*-lajit tuottavat useita hermomyrkyjä, vaikka vasta antx-a on kemiallisesti tunnettu. *Anabaena flos-aquae* on havaittu tuottavan myös maksatoksiineja (Sivonen & al. 1989a,d).

Samankaltaisia oireita kuin *A. flos-aquae* -hermomyrkyt saavat aikaan dinoflagellaattien PSP (Paralytic Shellfish Poison)-myrkyt (Carmichael & Mahmood 1984).

### 3.4. Muita itämeressä esiintyviä potentiaalisesti myrkyllisiä *Anabaena*-lajeja

#### 1. *Anabaena circinalis*

*A. circinalis* on lämpimän ja makean veden laji, jota on tavattu myös vähäsuolaisessa murtovedessä. Sille on tyypillistä leväkukintojen muodostaminen eutrofituneissa vesissä. Itämeressä sitä on tavattu Suomenlahden sisäsaariston alueella (Edler & al. 1984).

Myrkyllisiä *A. circinalis* -kukintoja on havaittu Australiassa, missä on todettu myös yksi varma kukinnan aiheuttama kotieläinmyrkytystapaus (lampaita) (McBarron & al. 1975). Levän myrkyllisyys on todettu hiiritesteillä (May & McBarron 1973, McBarron & al. 1975).

#### 2. *Anabaena cylindrica*

*A. cylindrica* on lämpimän ja makean veden laji, joka esiintyy myös murtovedessä. Se esiintyy satunnaisesti keskisellä Itämerellä ja säännöllisesti varsinaisen Itämeren pohjoisosassa ja Suomenlahdella. Pääasiallisesti se esiintyy litoraalissa (Edler & al. 1984).

*A. cylindrica* puhdasviljelmillä 1950-luvulla tehdyissä hiirikokeissa havaittiin sen tuottavan maksamyrkyä (Schwimmer & Schwimmer 1968). Myös sen LPS-endo-toksiinien on havaittu aiheuttavan allergiaoireita (Keleti & Sykora 1982).

#### 3. *Anabaena spiroides*

*A. spiroides* on lämpimän ja makean veden laji, joka esiintyy myös vähäsuolaisessa murtovedessä. Se muodostaa leväkukintoja eutrofisissa olosuhteissa. Laji esiintyy Suomenlahdella sisäsaariston alueella (Edler & al. 1984). Norjan järvissä tehdyissä myrkkylevätutkimuksissa lajista on löydetty myrkyllinen kanta 1980-luvulla (Skulberg & Underdal 1983).

## 4. APHANIZOMENON FLOS-AQUAE

### 4.1. Yleistä

*Aphanizomenon flos-aquae* kuuluu sinilevien Nostocales -lahkoon, joka muodostuu rihmamaisista sinilevistä (kuva 3, b). *A. flos-aquae* rihmat muodostavat paljain silmin havaittavia kimpumaisia yhdyskuntia. *A. flos-aquae* on makeanveden laji, joka esiintyy yleisenä myös Itämeressä. Tunnusomaista sille on kukintojen muodostaminen.

### 4.2. Esiintyminen Itämeressä

*Aphanizomenon flos-aquae* esiintyy koko Itämeren alueella (Edler & al. 1984). Runsaimmillaan se on loppukesän sinileväkukinnoissa, joiden dominanttilaji se on yhdessä *Nodularia spumigenan* kanssa. *A. flos-aquae* suosii viileämpää vettä kuin *N. spumigena*, minkä johdosta sen massaesiintymät ovat yleensä 15-20 metrin syvyydellä ja *N. spumigenan* pintavedessä (Rinne & al. 1981).

### 4.3. Myrkyt ja myrkytysoireet

*Aphanizomenon flos-aquae* kukinnasta eristettiin kaloille ja hiirille myrkyllinen kanta 1960-luvun lopulla (Gorham & Carmichael 1980). *A. flos-aquae* tuottamalla myrkyllä (afantoksiini, aphTx) havaittiin olevan samanlaiset kemialliset ja farmakologiset

ominaisuudet kuin PSP -myrkyillä (Paralytic shellfish poison) eli se vaikutti hermo-myrykynä (Alam & al. 1973). Myöhemmät tutkimukset ovat osoittaneet afantoksiinin olevan useiden myrkkujen sekoitus, joista yksi on PSP -myrkky saksitoksiini (Alam & al. 1978). Tarkemmin afantoksiinin rakennetta ei vielä tunneta. Saksitoksiini on alkaloidi, joka on rakenteeltaan tetrahydropuriini (Schantz & al. 1975).

Afantoksiini on nopeavaikutteinen hermomyrkky, joka estää liikepotentiaalin johtumisen hermossa tukkimalla  $\text{Na}^+$  -kanavat. Myrkky aiheuttaa koe-eläinten kuoleman pysäyttämällä hengityksen muutamassa minuutissa (Sasner & al. 1981, 1984).

Afantoksiinin aiheuttamia oireita hiirellä ovat koordinaatiokyvyn heikkeneminen, liikkeiden nykivyyt ja epäsäännöllinen hengitys. Hengityksen pysähtyminen aiheuttaa kuoleman noin 5-10 minuutissa (Sasner & al. 1984).

Makean veden simpukoiden *Elliptio camplanatuksen* ja *Corbicula fluminea* on havaittu varastoivan myrkkyä pieniä määriä (40-60  $\mu\text{g}/100\text{g}$  simpukan lihaa) ennen kuin niillä on havaittavissa myrkytysoireita. Myrkkyä sisältävä simpukanliha aiheuttaa hiirille samoja myrkytysoireita kuin myrkyllinen leväkukinta. Meriveden simpukka *Mytilus edulis* voi konsentroida huomattavasti enemmän myrkkyä itseensä (200-300  $\mu\text{g}/100\text{g}$  simpukan lihaa) (Sasner & al. 1984).

## 5. MICROCYSTIS AERUGINOSA

### 5.1. Yleistä

*Microcystis*-suku kuuluu sinilevien Chroococcales-lahkoon, joka koostuu yksisoluisista ei-rihmamaisissa yhdyskunnissa elävistä sinileivistä. *Microcystis aeruginosa* solut ovat pyöreitä, läpimitaltaan n. 4-6  $\mu\text{m}$ , eikä lajilla esiinny erilais- tai kestosoluja. Solut muodostavat tiiviin hyytelön ympäröimän yhdyskunnan (kuva 3, c). Laji esiintyy monenlaisissa vesiympäristöissä, mutta tyypillinen se on eutrofoituneille vesille. Lajille on ominaista leväkukintojen muodostaminen.

### 5.2. Esiintyminen itämeressä

*Microcystis aeruginosa* on makeanveden laji, mutta se esiintyy satunnaisesti myös suuressa osassa Itämeren. Havaintoja siitä on koko Itämeren alueelta lukuunottamatta Pohjanlahtea. Laji ei kuitenkaan lisäänty merivedessä ja sen esiintyminen rajoittuu rannikolle makean veden vaikutusalueelle (Edler & al. 1984). Itämeren avomerialueella, Suomenlahdella Helsingin edustalta itään havaittiin *M. aeruginosa* -kukinta ensimmäisen kerran vuonna 1987. Leväkukintaa selittää poikkeuksellisen sateinen syksy ja itätuulet, jotka saivat aikaan vähäsuolaisten vesimassojen kulkeutumisen rannikolle (Niemi 1988).

### 5.3. Myrkyt ja myrkytysoireet

*Microcystis aeruginosa* on myrkyllisiä kukintoja yleisimmin muodostava sinilevälaji (Carmichael 1982). Sen eri kannat tuottavat samankaltaisia myrkkyyjä, jotka poikkeavat toisistaan kemiallisilta ominaisuuksiltaan, mutta joiden aiheuttamat myrkytysoireet ovat samankaltaiset. Myrkyt ovat rakenteeltaan pieniä syklistä peptidejä, jotka eroavat mm. aminohappokoostumukseltaan (Gorham & Carmichael 1979, 1980, Carmichael 1982, 1988, Carmichael & Mahmood 1984, Krishnamurthy & al. 1986).



Myrkyllinen *M. aeruginosa* -kanta (NRC-1) eristettiin ensimmäisen kerran Kanadas-  
sa 1954. Sen tuottama myrkky nimettiin mikrokystiiniiksi (Hughes & al. 1958). Myrkky oli  
rakenteeltaan rengasmainen heptapeptidi, johon oli liittynyt 7 aminohappoa. Kukinnan  
(kylmäkuivattu) myrkyllisyys oli vatsaontelon sisäisessä injektioinnissa hiirille LD<sub>min</sub> =  
0.47 mg/kg (Bishop & al. 1959).

Muista laboratorio- ja luonnonkannoista on löydetty myöhemmin erilaisia myrkylli-  
siä heptapeptidejä (mikrokystiinejä), joiden myrkkyvaikutukset ovat samanlaiset kuin  
NRC-1 -kloonin myrkyllisyyden. Myrkyllisiä kukintoja on löydetty mm. Australiasta (Elleman &  
al. 1978), Etelä-Afrikasta (Torien & al. 1976), Skotlannista (Codd & Carmichael 1982),  
Suomesta (Sivonen & al. 1989d) ja Norjasta (Skulberg 1979, Skulberg & Underdal 1983,  
1985, Skulberg & al. 1986, Skulberg 1988). Westhuizen & al. (1988) eristivät yhdestä  
laboratoriokannasta (VV-006) kahdeksan erilaista myrkyllistä.

Hiirillä *M. aeruginosan* myrkytysoireet alkavat noin puolen tunnin kuluttua myrkyllisen  
nauttimisesta. Niillä esiintyy hermostunutta liikehdintää, kouristuksia, takaraajojen hal-  
vausoireita ja kalpeutta (korvat yms.). Jos kyseessä on letaaliannos, kuolema seuraa noin  
1-2 tunnin kuluessa. Kuolleilla eläimillä on havaittavissa maksavaurioita: mm. verenvuo-  
toja ja -tulpia sekä paikallisia kuolioita. Maksa on veritulppien johdosta huomattavasti  
laajentunut ja sen paino kasvanut (n. 50 %) (Falconer & al. 1981, Østenvik & al. 1981,  
Leeuwangh & al. 1983, Richard & al. 1983, Slatkin & al. 1983, Sasner & al. 1984,  
Siegelman & al. 1984). Radioaktiivisesti leimatusta myrkyllisestä 20 % kertyy maksaan  
puolessa tunnissa (Falconer & al. 1986). *M. aeruginosan* myrkyt aiheuttavat muutoksia  
myös keuhkoissa esim. verihitaleiden määrän vähenemistä, mikroskooppisia hytyymiä ja  
keuhkoveritulppia (Slatkin & al. 1983, Siegelman & al. 1984).

Lampailla myrkky aiheuttaa samanlaisia oireita kuin hiirillä, mutta ne ilmenevät  
pitemmän ajan kuluessa. Oireeton vaihe kestää noin 0.5-1 vuorokautta ja kuolema seuraa  
1-2 vuorokauden kuluessa (Jackson & al. 1984).

Carmichael & Gorham (1978) eristivät Kanadassa 1975-77 *M. aeruginosan* luonnon-  
kukinnasta myrkyllisen, jonka aiheuttamat myrkytysoireet poikkesivat mikrokystiiniin oireista,  
mutta muistuttivat suuresti *Anabaena flos-aquaen* myrkyllisen anatoksiini-c:n aiheuttamia  
oireita, minkä vuoksi myrkky nimettiin mikrokystiini-tyyppi-c:ksi. Myrkky aiheuttaa  
hiirille yleistä heikkoutta, jota seuraa 1-2 tunnin kuluttua sydänverisuonien kollapsi. Myös  
maksassa on havaittavissa vähäisiä vaurioita.

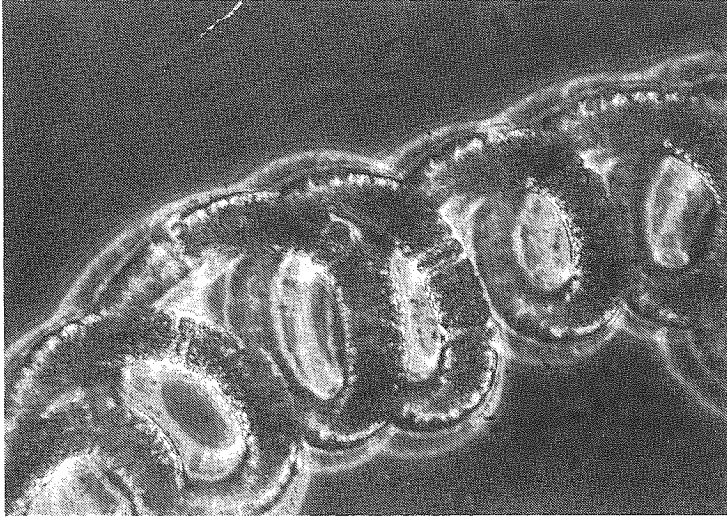
*M. aeruginosa* -kukintoihin assosioituneiden bakteereiden hidasvaikutteiset SDF-  
myrkyt aiheuttavat hiirikokeissa kuoleman pitkän latenssian (4-48 h) jälkeen. Oireina on  
apatiaa ja hengenahdistusta, mutta selviä patologisia muutoksia ei ole havaittavissa  
(Hughes & al. 1958, Gorham 1960, 1964). SDF -myrkyt voidaan havaita ainoastaan,  
mikäli levämyrkyjä ei esiinny, sillä ne peittävät voimakkaampina SDF-oireet (Leeu-  
wangh & al. 1983).

*M. aeruginosa* -myrkyt vapautuvat suurelta osin solun hajotessa joko vedessä tai  
eläinten ruuansulatuskanavassa. Sen johdosta solujen kunto vaikuttaa kukinnan myrkylli-  
syyteen, ja myrkyä voi esiintyä vedessä vielä kukinnan loputtuakin (Carmichael &  
Mahmood 1984).

## 6. NODULARIA SPUMIGENA

### 6.1. Yleistä

*Nodularia spumigena* on Nostocales -lahkoon kuuluva (rihmamainen) sinilevä, jolla esiintyy heterokystejä ja kestosoluja. Sen rihmat ovat yksittäin tai muodostavat löyhiä kasaumia. *N. spumigena* esiintyy yleisenä murtovedessä (kuvat 2, 3d).



Kuva 2. *Nodularia spumigena* -rihmaa Suomenlahdelta (500 x suurennos, kuva M. Huttunen.)

### 6.2. Esiintyminen Itämeressä

*Nodularia spumigena* esiintyy koko Itämeren alueella. Se on *Aphanizomenon flos-aquaen* kanssa pääasiallinen loppukesän sinileväkukintojen muodostaja. *N. spumigenan* massaesiintymistä Itämeressä on useita havaintoja, mm. Kattegatin alueella oli voimakkaat *N. spumigena* -kukinnat vuosina 1971, 1975 ja 1976 (Edler & al. 1982). Myrkyllisistä *N. spumigena* -kukinnoista on havaintoja Itämerestä (Sivonen 1989b,c) ja Australiasta, mistä on raportoitu kotieläinmyrkytystapaus jo viime vuosisadalta (Francis 1878). Australiassa on myös havaittu 1970- ja 1980-luvuilla *N. spumigena* -kukintojen pienentävän kalasaaliita (Potter & al. 1983, Lenanton & al. 1985). Myrkylliset *N. spumigena* -kukinnat ovat aiheuttaneet kotieläinkuolemia Itämeren piirissä Suomen, Ruotsin, Tanskan ja Itä-Saksan rannikoilla (Lindström 1976, Lundberg & al. 1983, Lind & al. 1983, Gussmann & al. 1985, Persson & al. 1984, Edler & al. 1985).

### 6.3. Myrkyt ja myrkytysoireet

*N. spumigenan* myrky on peptidi ja sen aiheuttamat oireet ovat samankaltaiset kuin *M. aeruginosa* -myrky, mikrokystiinin. Rakenteeltaan nodulariatoksiini on rengasmaainen pentapeptidi (Carmichael & al. 1988, Eriksson & al. 1988b, Rinehart & al. 1988, Sivonen

& al. 1989b). Hiirelle myrkky aiheuttaa noin puolen tunnin letaalivaiheen jälkeen lihaskouristuksia ja osittaisia halvauksia, joita seuraa kuolema noin tunnin kuluessa. Maksassa on havaittavissa kuolioita ja veritulppia, joiden johdosta se on selvästi laajentunut. Lisäksi on todettu vähäisiä munuaisvaurioita (Lundberg & al. 1983, Edler & al. 1985, Eriksson & al. 1988b).

*N. spumigenan* myrkky aiheuttaa samanlaisia oireita kotieläimille mm. koirille, lampaille, ankoille ja naudoille. Myrkytyksen jälkeen niillä esiintyy heikkoutta, lihaskouristuksia, halvauksia ja patologisina oireina laajentunut maksa, jossa on kuolioita (Lindström 1976, Main & al. 1977, Lundberg & al. 1983, Lind & al. 1983, Persson & al. 1984, Edler & al. 1985, Gussman & al. 1985).

## 7. OSCILLATORIA AGARDHII

### 7.1. Yleistä

*Oscillatoria agardhii* kuuluu sinilevien Nostocales -lahkoon. Se on rihmamainen sinilevä, joka ei muodosta yhdyskuntia, mutta planktiset muodot voivat esiintyä löyhinä rihmakimppuina. *O. agardhii*lla ei esinny heterokystejä tai kestosoluja, eikä se sido ilmakehän tyyppiä (kuva 3, e). Se on yleinen planktinen laji, joka esiintyy eri tyyppisissä vesissä suosien eutrofoituneita olosuhteita. Tyypillistä sille on massaesiintymien muodostaminen.

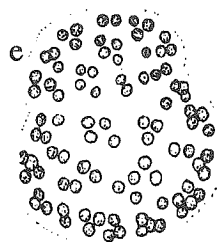
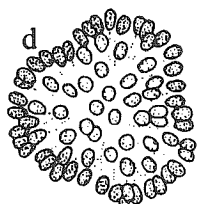
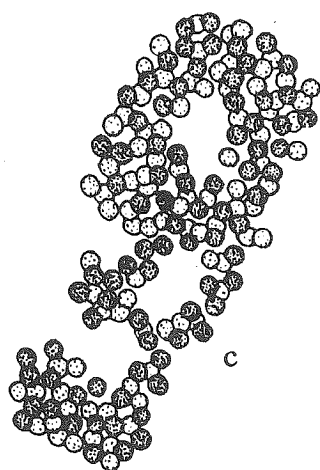
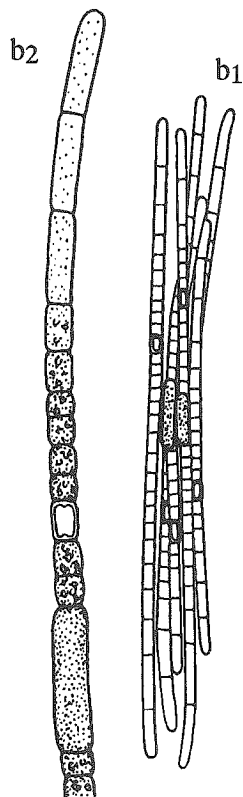
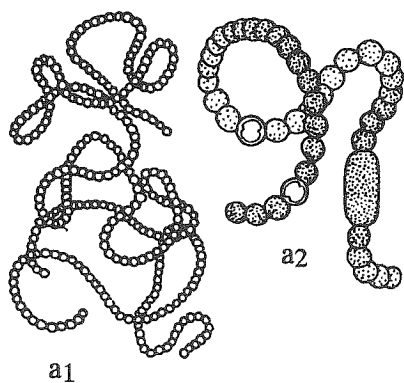
### 7.2. Esiintyminen Itämeressä

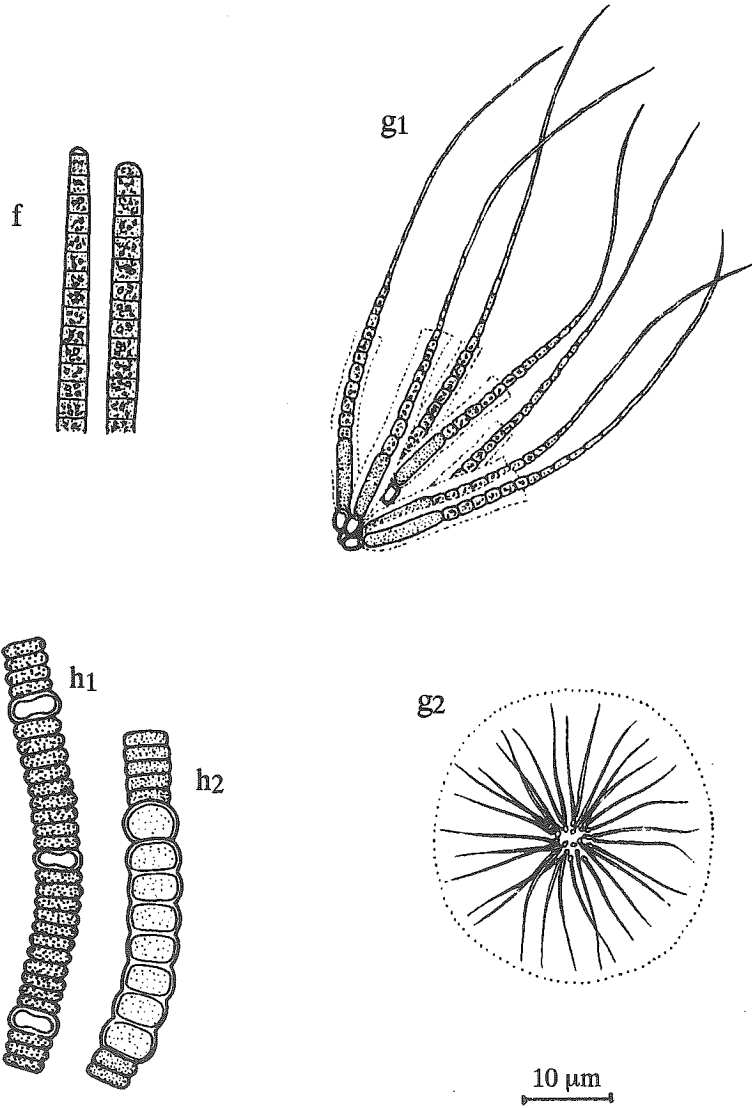
*O. agardhii* esiintyy varsinaisen Itämeren pohjoisosassa sekä Suomen- että Pohjanlahdella. Esiintymistä etelässä rajoittaa kasvava suolapitoisuus (Edler & al. 1984). *O. agardhii* esiintyy pääasiassa eutrofoituneilla rannikkoalueilla, joilla se on tyypillinen massaesiintymien muodostaja. Sen aiheuttamia kukintoja on raportoitu myös Perämereltä mm. Oulun edustalta (Alasaarela 1979).

### 7.3. Myrkyt ja myrkytysoireet

*O. agardhiin* tuottamat myrkyt muistuttavat aiheuttamiltaan oireilta ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan mikrokystiiniä ja ovat rakenteeltaan rengasmaisia heptapeptidejä (Eriksson & al. 1986, 1988a, Carmichael 1988, Sivonen & al. 1989d). Makeanveden simpukan, *Anodonta cygnea*n on havaittu konsentroivan myrkyä, ilman että sille aiheutuu myrkytysoireita (Eriksson & al. 1986, Lindholm & al. 1989).

Hiirille myrkky aiheuttaa noin puolen tunnin oireettoman vaiheen jälkeen tasapainoastin heikkenemistä, osittaisia halvauksia ja hengityksen syvenemistä. Juuri ennen kuolemaa, joka seuraa noin 1-4 tunnin kuluessa, niillä esiintyy myös kouristuksia ja kalpeutta. Maksassa on havaittavissa mm. kuolioita ja veritulppia, joiden johdosta maksa on selvästi laajentunut (Østenvik & al. 1981, Leeuwangh & al. 1983, Eriksson & al. 1986, 1988a,).





Kuva 3. Itämeressä esiintyviä, myrkyllisiksi todettuja sinileviä. a: *Anabaena flos-aquae* = a<sub>1</sub>) yhdyskunta, a<sub>2</sub>) yksittäinen rihma (Frémyn mukaan, ks. Tikkanen 1986). b: *Aphanizomenon flos-aquae* = b<sub>1</sub>) yhdyskunta, b<sub>2</sub>) yksittäinen rihma (Tikkanen 1986). c: *Microcystis aeruginosa* (Tikkanen 1986) d: *Gomphosphaeria lacustris* (Kossinskin mukaan, ks. Tikkanen 1986) e: *Coelosphaerium kuetsingianum* (Tikkanen 1986) f: *Oscillatoria agardhii* (Tikkanen 1986) g: *Gloetrichia echinulata* = g<sub>1</sub>) yhdyskunta, g<sub>2</sub>) yksittäisiä rihmoja (Tikkanen 1986). h: *Nodularia spumigena* = h<sub>1</sub>) yksittäinen rihma, h<sub>2</sub>) rihma keistosoluineen (Borner & Flahaultin mukaan, ks. Tikkanen 1986).

#### 7.4. Muita Itämeressä esiintyviä potentiaalisesti myrkyllisiä *Oscillatoria*-lajeja

##### *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix*

*O. agardhii* var. *isothrix* on lämpimän ja makean veden laji, jonka esiintymistä murtovedessä rajoittaa kasvava suolapitoisuus. Se esiintyy Itämeressä Suomenlahden alueella (Edler & al. 1984). Sen tuottama myrkky vastaa oireiltaan *O. agardhiin* myrkkyä (Skulberg & al. 1984).

### 8. MUITA ITÄMERESSÄ ESIINTYVIÄ TOKSISIA SINILEVIÄ

#### 8.1. *Coelosphaerium kuetzingianum*

*Coelosphaerium kuetzingianum* on Chroococcales -lahkoon kuuluva sinilevä, joka muodostaa pyöreähköjä onttoja yhdyskuntia (kuva 3, f). Se on yleinen laji, joka esiintyy eri tyyppisissä vesissä, myös murtovedessä. Itämeressä sen esiintymisalue kattaa Suomenlahden ja Perämeren (Edler & al. 1984). Laji on mainittu myrkylliseksi (Skulberg & Underdal 1983), mutta tietoja myrkkytutkimuksista ei löydy kirjallisuudesta.

#### 8.2. *Gloeotrichia echinulata*

*Gloeotrichia echinulata* on sinilevien Nostocales-lahkoon kuuluva levä, jolla esiintyy heterokystejä ja kestosoluja. Se on makean veden laji, joka suosii runsasravinteisia vesiä. Laji esiintyy myös vähäsuolaisessa murtovedessä, joskin se on meillä harvinainen (kuva 3, g).

*G. echinulataa* pidetään myrkyllisenä levänä kenttähavaintojen perusteella, mutta toksisuustesteissä siitä ei ole vielä löydetty myrkyllistä kantaa. *G. echinulatan* leväsuspensio aiheuttaa hiirille sairauksioireita (mm. veltoutta, lihaskouristuksia, ripulia), mutta ei johda kuolemaan (Leeuwangh & al. 1983).

#### 8.3. *Gomphosphaeria lacustris*

*Gomphosphaeria lacustris* on Chroococcales-lahkoon kuuluva sinilevä, joka muodostaa epäsäännöllisen pallomaisia, sisältä onttoja yhdyskuntia (kuva 3, h). Se on yleinen levä sekä makeassa että murtovedessä, joskin suolapitoisuus rajoittaa levinneisyyttä murtovedessä. Itämeren alueella sen levinneisyys kattaa pohjoisen Itämeren, Suomenlahden ja Selkämeren (Edler & al. 1984). Lajista on löydetty myrkyllisiä kukintoja Norjan eutrofituneista sisävesistä (Skulberg & Underdal 1983, Berg & al. 1986).

### 9. ITÄMERESSÄ TAPAHTUNEISTA LEVÄMYRKYTYKSIÄ

*Nodularia spumigena* -kukinnat ovat aiheuttaneet Itämeren rannikkoalueilla useita kotieläinkuolemia. Yhdessäkään tapauksessa myrkkyä ei ole ehditty eristämään kukinnasta eikä myrkyllisyyttä laboratorikokeissa testaamaan. Myrkytykset ovat tapahtuneet sen jälkeen, kun eläimet ovat joutuneet kukinnan kanssa kosketuksiin (uineet, juoneet tms.). Myrkytysoireet ovat havaituissa tapauksissa vastanneet *Nodularia spumigenan* myrkyn aiheuttamia oireita: heikotusta, oksentelua, halvauksia, maksaoireita (laajentunut maksa, kuolioita, verenvuotoja).

Elokuussa 1963 kuoli 400 ankkaa Itä-Saksan rannikolla (Rügen) levämyrkytykseen. Ne olivat ennen myrkytysoireiden alkamista kylpeneet rannalla, johon oli ajautunut *Nodularia spumigena* -levämatto (Kalbe & Tiess 1964).

Tanskan rannikolla (Århusin lähistöllä) havaittiin voimakas *Nodularia spumigena* -kukinta elokuussa 1975. Kukintaa oli edeltänyt aurinkoinen, lämmin ja tuuleton sää. Kukinta aiheutti myrkytysoireita 30:lle koiralle, jotka olivat uineet rannalla. Koirista 20 kuoli myrkytykseen (Lindström 1976).

Etelä-Ruotsin rannikolla ja Gotlannin etelärannikolla aiheutti *Nodularia spumigena* -kukinta 9 koiran kuoleman. Koirat olivat uineet kukintaa sisältävässä vedessä (Lind & al. 1983, Lundberg & al. 1983, Edler & al. 1985).

Elokuussa 1983 havaittiin Itä-Saksan rannikolla (Strelasund) *Nodularia spumigena* -kukinta. Kukintaa sisältävää vettä käytti juomavetenä 300-päinen nautakarja, josta kuoli 16 eläintä 18 tunnin kuluessa veden saannista (Gussmann & al. 1985).

Porvoon seudulla (Emäsalo) kuoli 1984 9 koiraa, jotka olivat olleet kosketuksissa voimakkaaseen leväkukintaan. Kukinnan muodosti pääasiassa *Nodularia spumigena*. Siinä oli mukana vähäisemmässä määrin *Aphanizomenon flos-aquae*- ja *Anabaena flos-aquae* f. *lemmermanni* -lajeja. Koirien saamat myrkytysoireet vastasivat aikaisempia tietoja *Nodularia spumigenan* aiheuttamista myrkytyksistä (mm. ripulia, maksa- ja munuaisvaurioita) (Persson & al. 1984).

## 10. KIRJALLISUUS

- Alam, M., Ikawa, M., Sasner, J.J. & Sawyer, P.J. 1973: Purification of *Aphanizomenon flos-aquae* toxin and its chemical and physiological properties. - *Toxicon* 11:65-72.
- Alam, M., Shimizu, Y., Ikawa, M. & Sasner, J.J. 1978: Reinvestigation of the toxins from the blue-green alga, *Aphanizomenon flos-aquae*, by a high performance chromatographic method. - *J. Environ. Sci. Health A13*(7):493-499.
- Alasaarela, E. 1979: Spatial, seasonal and long-term variations in the phytoplanktonic biomass and species composition in the coastal waters of the Bothnia Bay off Oulu. - *Ann. Bot. Fennici* 16:108-122.
- Aune, T. & Berg, K. 1986: Use of freshly prepared rat hepatocytes to study toxicity of blooms of the blue-green algae *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria agardhii*. - *J. Toxicol. Environ. Health* 19:325-336.
- Berg, K., Skulberg, O.M., Skulberg, R., Underdal, B. & Willen, T. 1986: Observations of toxic blue-green algae (Cyanobacteria) in some Skandinavian lakes. - *Acta Vet. Skand.* 27:440-452.
- Bishop, C.T., Anet, E.F.L.J. & Gorham, P.R. 1959: Isolation and identification of the fast-death factor in *Microcystis aeruginosa* NRC-1. - *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:435-471.
- Brooks, W.P. & Codd, G.A. 1986: Extraction and purification of toxic peptides from natural blooms and laboratory isolates of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. - *Lett. Appl. Microbiol.* 2:1-3.
- Carlson, R.E. & Schoenberg, S.A. 1983: Controlling blue-green algae by zooplankton grazing. - Teoksessa: Taggart, J. & Moore, L. (toim.) *Lake restoration, protecting and management*: 228-233. Vancouver, Canada.

- Carmichael, W.W. 1982: Chemical and toxicological studies of the toxic freshwater cyanobacteria *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* and *Aphanizomenon flos-aquae*. - S. African J. Sci. 78:367-372.
- Carmichael, W.W. 1988: Toxins of freshwater algae. - Teoksessa: Tu, A.T. (toim.) Handbook of natural toxins, marine toxins and venoms: 121-147. New York.
- Carmichael, W.W. & Bent, P.E. 1981: Hemagglutination method for detection of freshwater Cyanobacteria (blue-green algae) toxins. - Appl. Environ. Microb. 41: 1383-1388.
- Carmichael, W.W., Biggs, D.F. & Gorham, P.R. 1975: Toxicology and pharmacological action of *Anabaena flos-aquae* toxin. - Science 197:542-544.
- Carmichael, W.W., Eschedor, J.T., Patterson, G.M. L & Moore, R.E. 1988: Toxicity and partial structure of a hepatotoxic peptide produced by the cyanobacterium *Nodularia spumigena* Mertens emend. L575 from New Zealand. - Appl. and Envir. Microbiol. 54:2257-2263.
- Carmichael, W.W. & Gorham, P.R. 1978: Anatoxins from clones of *Anabaena flos-aquae* isolated from lakes of western Canada. - Mitt. Internat. Verein. Limnol. 21:285-295.
- Carmichael, W.W. & Gorham, P.R. 1981: The mosaic nature of toxic blooms of Cyanobacteria. - Teoksessa: Carmichael, W.W. (toim.), The water environment: algal toxins and health: 161-172. Plenum Publ. Co., New York.
- Carmichael, W.W., Jones, C.L.A., Mahmood, N.A. & Theiss, W.C. 1985: Algal toxins and water-based diseases. - CRC Critical Reviews in Environmental Control 15:275-313.
- Carmichael, W.W. & Mahmood, N.A. 1984: Toxins from freshwater Cyanobacteria. - American Chemical Society (ACS) Symp. Ser. 262:377-389.
- Codd, G.A. & Carmichael, W.W. 1982: Toxicity of clonal isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* from Great Britain. - FEMS Microbiol. Letters 13:409-411.
- Devlin, J.P., Edwards, O.E., Gorham, P.R., Hunter, N.R., Pike, R.K. & Stavric, B. 1977: Anatoxin-a, a toxic alkaloid from *Anabena flos-aquae* NRC-44h. - Can. J. Chem. 55:1367-1371.
- Edler, L., Aertebjerg, G. & Graneli, E. 1982: Exceptional plankton blooms in the entrance to the Baltic Sea - the Kattegat and Belt Sea area. - ICES C.M./ L. 20:1-6 (moniste).
- Edler, L., Fernö, S., Lind, M.G., Lundberg, R. & Nilsson, P.O. 1985: Mortality of dogs associated with a bloom of the cyanobacterium *Nodularia spumigena* in the Baltic Sea. - Ophelia 24:103-109.
- Edler, L., Hällfors, G. & Niemi, Å. 1984: A preliminary check-list of the phytoplankton of the Baltic Sea. - Acta Bot. Fennica 128:1-26.
- Elleman, T.C., Falconer, I.R., Jackson, A.R.B. & Runnegar, M.T. 1978: Isolation, characterization and pathology of the toxins from a *Microcystis aeruginosa* (*Anacystis cynea* bloom). - Australian J. Biol. Sci. 31:209-218.
- Eriksson, J.E., Meriluoto, J.A.O., Kujari, H.P. & Skulberg, O.M. 1988a: A comparison of toxins isolated from the cyanobacteria *Oscillatoria agardhii* and *Microcystis aeruginosa*. - Comp. Biochem. Physiol. 89:207-210.
- Eriksson, J.E., Meriluoto, J.A.O., Kujari, H.P., Österlund, K., Fagerlund, K. & Hällbom, L. 1988b: Preliminary characterization of a toxin isolated from the cyanobacterium *Nodularia spumigena*. - Toxicon 26:161-166.



- Eriksson, J.E., Meriluoto, J. & Lindholm, L. 1986: Can cyanobacterial peptide toxins accumulate in aquatic food chains? - Proc. IV Int. Symp. Microbial. Ecol. (ISME): 655-658.
- Falconer, I.R., Buckley, T. & Runnegar, M.T.C. 1986: Biological half-life, organ distribution and excretion of <sup>125</sup>I-labelled toxic peptide from the blue-green alga *Microcystis aeruginosa*. - Australian J. Biol. Sci. 39:17-21.
- Falconer, I.R., Jackson, A.R.B., Langley, J. & Runnegar, M.T. 1981: Liver pathology in mice in poisoning by the blue-green alga *Microcystis aeruginosa*. - Australian J. Biol. Sci. 34:179-187.
- Francis, G. 1878: Poisonous Australian lakes. - Nature 18:11-12.
- Fulton, R.S. III. 1988: Resistance to blue-green algal toxins by *Bosmina longirostris*. - J. Plankton Res. 10:771-778.
- Fulton, R.S. III. & Paerl, H.W. 1987: Toxic and inhibitory effects of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on herbivorous zooplankton. - J. Plankton Res. 9:837-855.
- Gorham, P.R. 1960: Toxic waterblooms of blue-green algae. - Can. Vet. J. 1:235-245.
- Gorham, P.R. 1964: Toxic algae. Teoksessa: Jackson, D.F. (toim.), Algae and man: 307-337, Plenum Press, New York.
- Gorham, P.R. & Carmichael, W.W. 1979: Phycotoxins from blue-green algae. - Pure Appl. Chem.: 52:165-174.
- Gorham, P.R. & Carmichael, W.W. 1980: Toxic substances from freshwater algae. - Prog. Wat. Tech. 12:189-198.
- Gorham, P.R., McNicholas, S. & Dale Allen, E.A. 1982: Problems encountered in searching for new strains of toxic planktonic cyanobacteria. - S. African J. Sci. 78:357-362.
- Gussmann, von H.J., Molzahn, J. & Bicks, B. 1985: Vergiftungen bei Junggrindern durch die Blaualge *Nodularia spumigena*. - Monatshefte für Veterinärmedizin 40:76-79.
- Hawkins, P.R., Runnegar, M.T.C., Jackson, A.R.B. & Falconer, I.R. 1985: Severe hepatotoxicity caused by the tropical cyanobacterium (blue-green alga) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya and Subba Raju isolated from a domestic water supply reservoir. - Appl. Environ. Microb. 50:1292-1295.
- Horstmann, U. 1975: Eutrophication and mass production of blue-green algae in the Baltic. - Merentutkimuslait. Julk./ Havsforkningsinst. Skr. 239:83-90.
- Hughes, E.O., Gorham, P.R. & Zehnder, A. 1958: Toxicity of a unialgal culture of *Microcystis aeruginosa*. - Can. J. Microbiol. 4:225-236.
- Jackson, A.R.B., McInnes, A., Falconer, I.R. & Runnegar, T.C. 1984: Clinical and pathological changes in sheep experimentally poisoned by the blue-green alga *Microcystis aeruginosa*. - Vet. Pathol. 21:102-113.
- Kalbe, L. & Tiess, D. 1963: Entenmassensterben durch *Nodularia*-Wasserblüte am Kleinen Jasmunder Bodden auf Rügen. - Arch. Exp. Vet. Med. 18:535-555.
- Keleti, G. & Sykora, J.L. 1982: Production and properties of cyanobacterial endotoxins. - Appl. Environ. Microb. 43:104-109.
- Keijola, A.M., Himberg, K., Esala, A.L., Sivonen, K. & Hiisvirta, L. 1988: Removal of cyanobacterial toxins in water treatment processes: laboratory and pilot-scale experiments. - Toxicity Assessment: An Intern. J. 3:643-656.

- Krishnamurthy, T., Carmichael, W.W. & Sarver, E.W. 1986: Toxic peptides from freshwater Cyanobacteria (blue-green algae). I. Isolation, purification and characterization of peptides from *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flos-aquae*. - *Toxicon* 24:865-873.
- Lampert, W. 1981: Toxicity of blue-green *Microcystis aeruginosa*: Effective defence mechanism against grazing pressure by *Daphnia*. - *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21:1436-1440.
- Lampert, W. 1982: Further studies on the inhibitory effect of the toxic blue-green *Microcystis aeruginosa* on the filtering rate of zooplankton. - *Arch. Hydrobiol.* 95:207-220.
- Leeuwangh, P., Kappers, F.I., Dekker, M. & Koerselman, W. 1983: Toxicity of Cyanobacteria in dutch lakes and reservoirs. - *Aquatic Toxicology* 4:63-72.
- Lenanton, R.C.J., Loneragan, N.R. & Potter, I.C. 1985: Blue-green algal blooms and the commercial fishery of a large Australian estuary. - *Mar. Pollut. Bull.* 16:477-482.
- Lind, M.G., Edler, L., Fernö, S., Lundberg, R. & Nilsson, P.-O. 1983: Risken för algförgiftning har ökat. Hundar avled efter bad i södra Östersjön. - *Läkartidningen* 80:2734-2737.
- Lindholm, T., Eriksson, J. & Meriluoto, J. 1989: Toxiner från blågrönalger anrikas i musslor. - *Fauna och Flora* 84:21-25.
- Lindström, A.E. 1976: & udbrud af algeförgiftning blandt hunde. - *Dansk Vet. Tidsskr.* 59:637-641.
- Lundberg, R., Edler, L., Fernö, S., Lind, M.G. & Nilsson, P.-O. 1983: Algförgiftning hos hund. - *Svensk Veterinärtidning* 35:509-516.
- Main, D.C., Berry, P.H., Peet, R.L. & Robertson, J.P. 1977: Sheep mortalities associated with the blue green alga *Nodularia spumigena*. - *Australian Vet. J.* 53:578-581.
- May, V. & McBarron, E.J. 1973: Occurrence of the blue-green alga, *Anabaena circinalis* Rabenh., in New South Wales and toxicity to mice and honey bees. - *J. Australian Inst. Agric. Sci.* 39:264-266.
- McBarron, E.J., Walker, R.I., Gardner, I. & Walker, K.H. 1975: Toxicity to livestock of the blue-green alga *Anabaena circinalis*. - *Australian Vet. J.* 51:587-588.
- Melvasalo, T. 1971. Havaintoja Helsingin ja Espoon merialueiden kasviplanktonlajistosta ja -biomassoista vuosina 1966-1970. - *Vesiensuoj. laborat. tiedonantoja* 3:1-97.
- Melvasalo, T., Grasshoff, K., Pawlak, J., Thorell, L. & Tsiban, A. 1981: The assessment of the effects of pollution on the natural resources of the Baltic Sea. - *Baltic Sea Environment Proceedings* 5 B: 1-426.
- Melvasalo, T., Niemi, Å., Niemistö, L. & Rinne, I. 1982: Blue-green algal bloom and nitrogen fixation in the Baltic Sea. - *ICES, C.M./L.* 11:1-14 (moniste).
- Melvasalo, T. & Viljamaa, H. 1977: Planktonic blue-green algae in polluted coastal waters off Helsinki. - *Publ. Water Res. Inst., National Board of Waters, Finland* 19:1-35.
- Meriluoto, J.O. 1988: Rapid analysis of peptide toxins in Cyanobacteria. - *J. Chromatogr.* 438:93-99.
- Moore, R.P. 1981: Toxins from marine blue-green algae. - *Teoksessa: Carmichael, W.W. (toim.). The Water Environment: Algal Toxins and Health: 15-24. Plenum Press, New York.*
- Moore, R.P. 1984: Public health and toxins from marine blue-green algae. - *American Chemical Society (ACS) Symp. Ser.* 262:369-376.

- Niemi, Å. 1972: Observations on phytoplankton in eutrophied and non-eutrophied archipelago waters of the southern coast of Finland. - *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica* 48:63-74.
- Niemi, Å. 1979: Blue-green algal blooms and N:P ratio in the Baltic Sea. - *Acta Bot. Fennica* 110:57-61.
- Niemi, Å. 1982: Algal blooms in the central and northern Baltic Sea. - ICES, C.M./L. 10:1-11 (moniste).
- Niemi, Å. 1988: Exceptional mass occurrence of *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) Kützinger (Chroococcales, Cyanophyceae) in the Gulf of Finland in autumn 1987. - *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica* 64:165-167.
- Niemistö, L., Rinne, I., Melvasalo, T. & Niemi, Å. 1989: Blue-green algae and their nitrogen fixation in the Baltic Sea 1980, 1982 and 1984. - *Meri* 17: 3-59.
- Nizan, S., Dimentman, C. & Shilo, M. 1986: Acute toxic effects of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* on *Daphnia magna*. - *Limnol. Oceanogr.* 31:497-502.
- Persson, P.-E. 1981: Growth of *Oscillatoria agardhii* in a hypertrophic brackish-water bay. - *Ann. Bot. Fennici* 18: 1-12.
- Persson, P.-E., Sivonen, K., Keto, J., Kononen, K., Niemi, M. & Viljamaa, H. 1984: Potentially toxic blue-green algae (Cyanobacteria) in Finnish natural waters. - *Aqua Fennica* 14:147-154.
- Plinski, M. 1983: Predictive model of Cyanophyta invasion in coastal waters of South Baltic. - *Pol. Arch. Hydrobiol.* 30:177-187.
- Potter, I.C., Loneragan, N.R., Lenanton, R.C. & Chrystal, P.J. 1983: Blue-green algae and fish population changes in a eutrophic estuary. - *Mar. Pollut. Bull.* 14:228-233.
- Richard, D.S., Beattie, K.A. & Codd, G.A. 1983: Toxicity of cyanobacterial blooms from Scottish freshwaters. - *Environ. Tech. Letters* 4:377-382.
- Rinehart, K.L., Harada, K., Namikoshi, M., Chen, C., Harvis, C.A., Munro, M.H.G., Blunt, J.W., Mulligan, P.E., Beasley, V.R., Dahlem, A.M. & Carmichael, W.W. 1988: Nodularin, Microcystin, and the configuration of ADDA. - *J. Am. Chem. Soc.* 110:8557-8558.
- Rinne, I., Melvasalo, T., Niemi, Å. & Niemistö, L. 1978: Nitrogen fixation by blue-green algae in the Baltic Sea. - *Kieler Meeresforsch. Sonderh.* 4:178-187.
- Rinne, I., Melvasalo, T., Niemi, Å. & Niemistö, L. 1979: Nitrogen fixation (acetylene reduction method) by blue-green algae in the Baltic Sea in 1975 and 1977. - *Publ. Water Res. Inst., National Board of Waters, Finland* 34:88-107.
- Rinne, I., Melvasalo, T., Niemi, Å. & Niemistö, L. 1981: Studies on nitrogen fixation in the Gulf of Bothnia. - *Finnish Mar. Res.* 248:117-127.
- Rinne, I., Melvasalo, T., Niemi, Å. & Niemistö, L. 1984: Dynamics of blue-green algal bloom in the northern Baltic Proper. - ICES, Special Meeting 5B:1-17.
- Rinne, I., Niemistö, L. & Niemi, Å. 1986: Blue-green algal blooms in the Baltic Sea - a sign of eutrophication? - *Baltic Sea Environm. Proceedings* 19:144-153.
- Sasner, J.J., Ikawa, M. & Foxall, T.L. 1984: Studies on Aphanizomenon and Microcystis toxins. - *American Chemical Society (ACS) Symp. Ser.* 262:391-406.
- Sasner, J.J., Ikawa, M., Foxall, T. L. & Watson, W.H. 1981: Studies on aphanotoxin from *Aphanizomenon flos-aquae* in New Hampshire. - *Teoksessa: Carmichael, W.W. (toim.), The Water Environment: Algal Toxins and Health: 389-404. Plenum Press, New York.*
- Schantz, E.J., Ghazarossian, V.E., Schnoes, H.K., Strong, F.M., Springer, J.P., Pezzanite, J.O. & Clardy, J. 1975: The structure of saxitoxin. - *J. American Chem. Soc.* 79: 1238-1239.

- Schwimmer, D. & Schwimmer, M. 1968: Medical aspects of phycochemistry. Teoksessa: Jackson, D.F. (toim.), *Algae, man and environment*: 279-358, Syracuse Univ. Press, New York.
- Scott, W.E., Barlow, D.J. & Hauman, J.H. 1981: Studies on the ecology, growth and physiology of toxic *Microcystis aeruginosa* in South Africa. - Teoksessa: Carmichael, W.W. (toim.), *The Water Environment: Algal Toxins and Health*: 49-70. Plenum Press, New York.
- Siegelman, H.W., Adams, W.H., Stoner, R.D. & Slatkin, D.N. 1984: Toxins of *Microcystis aeruginosa* and their hematological and histopathological effects. - American Chemical Society (ACS) Symp. Ser. 262:407-413.
- Sivonen, K., Himberg, K. & Niemelä, S. 1988: Syanobakteeri-toksiinit. - *Kemia-Kemi* 13:396-400.
- Sivonen, K., Himberg, K., Luukkainen, R., Niemelä, S.I., Poon, G.K. & Codd, G.A. 1989a: Preliminary characterization of neurotoxic Cyanobacteria blooms and strains from Finland. - *Toxicity Assessment: An Internat. J.* 4:339-352.
- Sivonen, K., Kononen, K., Carmichael, W.W., Dahlem, A.M., Rinehart, K.L., Kiviranta, J. & Niemelä, S.I. 1989b: Occurrence of the hepatotoxic cyanobacterium *Nodularia spumigena* in the Baltic Sea and structure of the toxin. - *Appl. Envir. Microb.* 55:1990-1995.
- Sivonen, K., Kononen, K., Esala, A.-L. & Niemelä, S.I. 1989c: Toxicity and isolation of the cyanobacterium *Nodularia spumigena* from the southern Baltic Sea in 1986. - *Hydrobiologia* 185:3-8.
- Sivonen, K., Niemelä, S.I., Lepistö, R.M., Luoma, T.H. & Räsänen, L.A. 1989d: Toxic Cyanobacteria (blue-green algae) in Finnish fresh and coastal waters. - *Hydrobiologia (painossa)*.
- Skulberg, O.M. 1979: Giftvirkninger av blågrønnalger - første tilfelle av *Microcystis*-forgiftning registrert i Norge. - Temaraport 4, Norsk Institutt for vannforskning: 1-42.
- Skulberg, O. 1988: Blågrønnalger - vannkvalitet. Toksiner. Lukt - og smaksstoffer. Nitrogenbinding. - Niva-Raport 2116, Norsk Institutt for vannforskning: 1-121.
- Skulberg, O., Berglund, L. & Underdal, B. 1986: Gift-produserende blågrønnalger i Vestfold. Resultater av undersøkelse i 1985. - Niva-Raport 1830, Norsk Institutt for vannforskning: 1-32.
- Skulberg, O.M., Codd, G.A. & Carmichael, W.W. 1984: Toxic blue-green algal blooms in Europe: A growing problem. - *Ambio* 13:244-247.
- Skulberg, O. & Underdal, B. 1983: Vannblomst med giftige blågrønnalger - undersøkelser i Rogaland 1982. - Niva-Raport 1528, Norsk Institutt for vannforskning: 1-42.
- Skulberg, O. & Underdal, B. 1985: Giftproduserende blågrønnalger i Vestfold. Resultater av undersøkelser i 1984. - Niva-Raport 1716, Norsk Institutt for vannforskning: 1-21.
- Slatkin, D.N., Stoner, R.D., Adams, W.H., Kycia, J.H. & Siegelman, H.W. 1983: Atypical pulmonary thrombosis caused by a toxic cyanobacterial peptide. - *Science* 220:1383-1385.
- Sörensson, F. & Sahlsten, E. 1987: Nitrogen dynamics of a Cyanobacteria bloom in the Baltic Sea: new versus regenerated production. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37: 277-284.
- Tideström, H. & Rennerfelt, J. 1986: Giftiga alger i dricksvatten. - *Vår Föda* 38:31-38.
- Tikkanen, T. 1986: Kasviplanktonopas. - Suomen Luonnonsuojelun tuki, Helsinki 1986, 278 s.

- Torien, D. F., Scott, W.E. & Pitout, M.J. 1976: Microcystis toxins: isolation, identification, implication. - Water S. African 2:160-162.
- Watanabe, M.F. & Oishi, S. 1982: Toxic substance from a natural bloom of Microcystis aeruginosa. - Appl. Environ. Microb. 43: 819-822.
- Westhuizen van der, A.J., Eloff, J.N. & Kruger, G.H.J. 1988: Isolation of several toxins from the cyanobacterium, Microcystis aeruginosa. - S. African J. Sci. 84: 70-71.
- Østenvik, O., Skulberg, O.M. & Sjøli, N.E. 1981: Toxicity studies with blue-green algae from Norwegian inland waters. - Teoksessa: Carmichael, W.W. (toim.). The Water Environment: Algal Toxins and Health: 389-404. Plenum Press, New York.



## OSA II: PANSSARISIIMALEVIEN (DINOPHYCEAE) AIHEUTTAMAT MYRKYTYKSET

### 1 JOHDANTO

Dinoflagellaatit eli panssarisiimalevät ovat yksisoluisia, kaksisiimaisia leviä. Ne muodostavat leväluokan Dinophyceae, johon sisältyy seitsemän lahkkoa. Myrkkijä tuottavia dinoflagellaatteja on havaittu lähes kolmekymmentä lajia mm. seuraavista lahkoista: Prorocentrales, Dinophysiales, Gymnodiniales ja Periniales (taulukko 3). Tyypillistä dinoflagellaateille on suurikokoinen tuma ja useinmiten vahvarakenteinen soluseinä, joskin osa lajeista on kuoretomia.

Dinoflagellaatit ovat pääosin planktisia leviä, joiden suurin laji- ja muotorunsaus on suolaisissa vesissä. Makeissa vesissä lajimäärät ovat huomattavasti vaatimattomampia. Dinoflagellaatit ovat yhteyttämispigmenttien suhteista riippuen väriltään yleensä ruskeita tai ruskean keltaisia, mutta myös täysin värittömiä, heterotrofisia muotoja esiintyy. Värilisyydestä johtuen dinoflagellaatti-kukinnat voivat värjätä veden kellertävästä punaiseen (ns. red tide). Kukinnasta puhutaan dinoflagellaattien määrän ollessa noin 20 000-30 000 solua/ml (Carmichael & al. 1985).

Useille dinoflagellaateille on tyypillistä kestromuotojen eli kystien muodostaminen. Paksuseinäiset kystit sedimentoituvat pohjalle ja joutuvat takaisin tuottavaan kerrokseen esimerkiksi kumpuamisen seurauksena. Kystit muodostavat ns. siemenpopulaation, joka olosuhteiden muuttuessa paremmiksi voi aikaansaada leväkukinnan alkamisen (Anderson 1979, 1984).

Taulukko 3. Potentiaalisesti toksisia dinoflagellaatteja (Lähde: , Schantz 1971 (1), Okaichi & Imatomi 1979 (2), Bagnis & al 1980 (3), Yasumoto & al. 1980b (4), Campos & al 1982 (5), Dahl & al. 1982 (6), Kat & al. 1982 (7), Tangen 1983b (8), Estrada & al. 1984 (9), Fraga 1984 (10), Tindall & al. 1984 (11), Baden & al. 1985 (12), Carmichael & al. 1985 (13), Dahl & Danielssen 1985 (14), Escalona & al. 1986 (15), Tosteson & al. 1986 (16), Hallegraeff & al. 1988 (17), Møestrup & Hansen 1988 (18) (\* synonyymi).

PSP = Paralytic shellfish poisoning, DSP = Diarrhetic shellfish poisoning, VSP = Venerupin shellfish poisoning, ciguat. = Ciguatera poisoning, NSP = Neurotoxic shellfish poisoning

Laji	Myrkytys	Lähde
Alexandrium acatenella (Whedon & Kofoid) Balech (Gonyaulax acatenella*)	PSP	17
A. catenella (Whedon & Kofoid) Balech (G. catenella*)	PSP	17
A. minutum Halim	PSP	17
A. tamarensis -kompleksi Cleparede & Lachman (Gonyaulax tamarensis*, G. excavata*)	PSP	17, 18
Dinophysis acuminata Cleparede & Lachman	DSP	8
D. acuta Ehrenberg	DSP	8
D. fortii Davillard	DSP	4, 5
D. norvegica Cleparede & Lachman	DSP	8
Gambierdiscus toxicus Adachi & Fukuyo	ciguat.	3, 11
Gonyaulax monilata Howell	PSP	1, 13
G. polyedra Stein	ciguat.?	11, 13
Gymnodinium catenatum Graham	PSP	5, 9, 10
G. sanguineum	ciguat.?	11

Laji	Myrkytys	Lähde
<i>G. veneficum</i> Ballantine	-	1, 13
<i>Gyrodinium aureolum</i> Hulburt	-	6, 14
<i>Ostreopsis lenticularis</i>	-	15, 16
<i>Prorocentrum concavum</i> Fukuyo	ciguat.	11
<i>P. lima</i> (Ehrenberg) Dodge	DSP	4
<i>P. mexicanum</i> Tafall	ciguat.?	11
<i>P. micans</i> Ehrenberg	DSP ?	7
<i>P. minimum</i> Schiller ( <i>Prorocentrum minimum</i> var. <i>mariae-lebouriae</i> *, <i>Exuviella mariae-lebouriae</i> *)	VSP	2, 8
<i>Ptychodiscus brevis</i> Steidinger (Davis) ( <i>Gymnodinium breve</i> *)	NSP	12
<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressa</i> Böhm	PSP	12

Osa dinoflagellaateista tuottaa myrkyllisiä aineita, joita varsinkin leväkukintojen aikana voi konsentroitua huomattavia määriä kasviplanktonia suodattaviin eläimiin, kuten eläinplanktoniin, simpukoihin ja kaloihin. Myrkyä konsentroineet eläinplankterit voivat aiheuttaa niitä ravintona käyttävien kalojen massakuolemia. Ihmisten myrkytystapaukset ovat johtuneet myrkyä konsentroineiden simpukoiden ja kalojen käytöstä ravinnoksi.

Samalla dinoflagellaatti -lajilla voi esiintyä sekä myrkyllisiä että myrkyttömiä kantoja. Myös dinoflagellaattien kystit voivat sisältää myrkyllisiä aineita jopa suurempina konsentraatioina kuin vegetatiiviset solut. Simpukat konsentroivat myrkyä käyttäessään kystejä ravinnokseen (Dale & Yentsh 1978, White & Lewis 1982, Jamieson & Chadler 1983, Anderson 1984). Levämyrkyä saattaa esiintyä simpukoissa useita kuukausia myrkyllisen kukinnan päätyttyä, mikä johtuu joko myrkytys hitaasta hajoamisesta tai myrkytys konsentroitumisesta kystien kautta (Sang & Ming 1984).

Dinoflagellaatti-kukintojen esiintyminen kuuluu esim. trooppisilla alueilla planktoniyhteisön luonnolliseen rytmiin, mutta kukintojen frekvenssi ja laajuus näyttävät kuitenkin monilla alueilla kasvaneen, mikä voi johtua lisääntyneestä rehevöitymisestä (Yentsch 1984, Graneli 1987). Dinoflagellaatti-kukinnat lähtevät kehittymään, kun ravinnepitoisuudet ovat korkeita ja saalistajien määrä vähäinen (Fraga & al. 1988). Suotuisat olosuhteet muodostuvat esim. kumpuamisen jälkeen. Kukintojen esiintymisen on havaittu korreloivan myös lämpötilan ja suolapitoisuuden nousun kanssa (Prakash 1967, Dale 1983). Kukintoja rajoittavia tekijöitä ovat matalien ravinnepitoisuuksien lisäksi joissain tapauksissa dinoflagellaattien loiset sekä saalistajat. Eläinplanktonin laidunnus voi estää kukinnan muodostumisen, ja sen on havaittu lisäävän huomattavasti levien kuolleisuutta kukinnan aikana (Watras & al. 1985). Tyynellä valtamerellä on havaittu tapauksia, joissa *Alexandrium catenella* (*Gonyaulax catenella*) -kukinta heikkeni loisen (*Amoebophrya ceratii*) johdosta (Nishitani & al. 1984).

Dinoflagellaattien myrkytyskokeissa käytetään rutiinimenetelmänä hiiritestejä. Myrkyypitoisuudet esitetään usein ns. hiiriyksikköinä (Mouse unit, MU). Yksi MU PSP-myrkyä vastaa myrkyymäärää, joka tappaa 20 g:n painoisen hiiren 15:ssä minuutissa, kun 1 ml simpukanlihua injektoidaan suolensisäisesti (Sommer & Meyer 1937). DSP-myrkyille MU vastaa myrkyymäärää, joka tappaa hiiren 24 tunnin kuluessa (Hamano & al. 1985). MU määrät voidaan muuttaa korjauskertoimien avulla myrkyypitoisuuksiksi (esim. µg/100 g simpukan lihaa).

Hiiritestejä korvaavia tarkempia, nopeampia ja luotettavampia menetelmiä ollaan kehittämässä, sillä hiiritestien luotettavuus varsinkin pienissä myrkyypitoisuuksissa on



huono. Esimerkiksi saksitoksiinin kemiallinen määrittäminen, joka perustuu saksitoksiinista hapetetun yhdisteen fluorisenssin mittaamiseen, on osoittautunut huomattavasti tarkemmaksi (Bates & Rapoport 1975). Myrkkytutkimuksissa menetelminä käytetään mm. suuren erotuskyvyn nestekromatografiamenetelmää (HPLC) (mm. Boyer & al. 1986). Menetelmä on osoittunut pienissä myrkkypitoisuuksissa ( $< 80 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  simpukan lihaa) yhtä tarkaksi kuin hiiritestit, mutta suuremmissa pitoisuuksissa se aliarvioi hieman myrkkypitoisuuksia (Sullivan & Iwaoka 1983, Sullivan & al. 1983). Ciguatera- ja saksitoksiini-myrkkyjen havitsemiseksi on kehitetty radioimmunologinen menetelmä, joka perustuu myrkkujen aikaansaamiin vasta-ainereaktioihin (Hokama & al. 1977, Carlson & al. 1984, Baden & al. 1985). Menetelmällä saadut tulokset korreloivat hiiritestien kanssa (Kimura & al. 1982a,b). Radioimmunologisen menetelmän perusteella on kehitetty entsyymi-immunologinen menetelmä (Hokama & al. 1983). Myrkkytutkimuksissa on käytössä myös veren punasolujen agglutinaatiomenetelmä, joka perustuu myrkyllisen aiheuttamaan veren punasolujen hemolyyysiin. Testeissä on käytetty ihmisen ja hiiren verta (Escalona & al. 1986).

## 2. PSP (PARALYTIC SHELLFISH POISONING)

### 2.1 Yleistä

Dinoflagellaattien aiheuttamista myrkytystapauksista pisimpään on tunnettu PSP-myrkytykset (Paralytic Shellfish Poisoning). Myrkytyksiä on aiheuttanut levämyrkkijä konsentroineiden simpukoiden käyttö ravinnoksi. Varhaisimmat raportit Euroopassa tapahtuneista PSP-myrkytyksistä ovat 1800-luvun alusta (Ayres 1975). Kuitenkin vasta 1930-luvulla havaittiin, että myrkytysten aiheuttajina olivat *Gonyaulax* -leväkukinnat, joiden tuottamia myrkkijä oli konsentroitunut simpukoihin (Sommer & al. 1937).

PSP-myrkytyksiä aiheuttavia myrkkijä on havaittu seuraavissa dinoflagellaateissa: *Alexandrium tamarensis* -kompleksi, useat *Gonyaulax* ja *Gymnodinium* -lajit ja *Pyrodinium bahamense* var. *compressa* (ks. taulukko 3). PSP-myrkkijä tuottaa myös sinilevä *Aphanizomenon flos-aquae* (Alam & al. 1975, 1978). *Alexandrium tamarensis* -kompleksi käsittää mm. aiemmin *Gonyaulax tamarensis*- ja *G. excavata* -nimillä kutsutut lajit. Jatkossa käytetään nimeä *A. tamarensis* ja perässä sulkeissa referoitavan käyttämää nimeä.

Myrkkijä kertyy ravintonsa suodattamalla kerääviin eläinplanktereihin, simpukoihin ja kaloihin. Simpukoissa on havaittu ihmiselle haitallisia myrkkypitoisuuksia myrkkyleväkonsentraation ollessa 100-200 solua/ml (Schantz & al. 1966). Levien myrkkypitoisuuden on havaittu vaihtelevan ympäristöolosuhteiden mukaan ja korreloivan leväsolujen koon kanssa (Hall & al. 1982, Kodoma & al. 1982). Simpukoissa on havaittu korkeita myrkkypitoisuuksia, jopa  $150\,000 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  simpukan lihaa (Jamiesson & Chandler 1983).

Simpukat kestävät huomattavasti korkeampia myrkkypitoisuuksia kuin selkärangaiset, mutta korkeissa myrkkypitoisuuksissa niilläkin ilmenee haittavaikutuksia, mm. hapen kulutus muuttuu, filtrausnopeus hidastuu ja kuolevuus kasvaa (Cucci & al. 1985, Shumways 1985). Pohjan pintakerroksista simpukoiden ravintoon voi joutua myrkkijä sisältäviä dinoflagellaatti-kystejä (Dale & Yentsh 1978, Jamiesson & Chadler 1983, Anderson 1984), jotka aiheuttavat simpukoiden myrkyllisyyden silloin kun leväkukintoja ei esiinny, esim. talvella (White & Lewis 1982).

Eläinplanktoniin kertyy PSP-myrkkijä ravinnon mukana ilman havaittavia vaikutuksia (White 1980, 1981a, McClatchie 1988). Eläinplanktonista on mitattu samoja myrkkykonsentraatioita kuin saman alueen simpukoista (White 1979). Kalat voivat saada levämyrkkijä eläinplanktonin kautta. Kanadan itärannikolla (Bay of Fundy) ovat

myrkylliset *Alexandrium tamarensis* (*Gonyaulax tamarensis*) -kukinnat aiheuttaneet 1970-luvulla useita kalojen massakuolemia (White 1977, 1980, 1982, Martin & White 1988). Useilla merikaloilla (mm. silli, turska ja lohi) on havaittu hyvinkin alhaisia PSP-myrkkykestävyyksiä (400-750 µg/kg) (White 1981b). Kalastukselle ja kalanviljelylle ovat PSP-myrkytykset aiheuttaneet huomattavia taloudellisia vahinkoja: mm. vuonna 1984 kuoli Färssaaarilla 24 tonnin kirjolohierä myrkyllisen *A. tamarensis* (*Gonyaulax excavata*) -kukinnan johdosta (Mortensen 1985, Tangen 1987). Samalla alueella havaittiin myös vuonna 1987 huomattava *A. tamarensis* -kukinta (Gaard & Poulsen 1988).

Kaloihin ja simpukoihin kerääntyneet myrkyt ovat aiheuttaneet myrkytyksiä niitä syöville vesilinnuille. Vuosina 1968 ja 1975 kuoli Englannin koillisrannikolla 60-80 % paikallisesta karimetsokannasta PSP-myrkytykseen. Levämyrkyt linnut olivat saaneet ravintonaan käyttämän tuulen kalan (*Ammodytes*) välityksellä. Samanaikaisesti ilmeni paikallisten asukkaiden keskuudessa useita kymmeniä PSP-myrkytystapauksia. Lintujen massakuolemien vähäisyys verrattuna löydettyihin myrkyllisiin simpukkaesiintymiin viittaa niille kehittyneeseen immuniiteettiin (Armstrong & al. 1978).

## 2.2 Myrkyt ja myrkytysoireet

PSP-myrkky saksitoksiini eristettiin 1950-luvulla. Myöhemmin sen todettiin olevan rakenteeltaan tetrahydropuriini (Schantz & al. 1975). Nimen myrky sai simpukasta *Saxidomus giganteus*, joka oli pitkään ainoa tunnettu PSP-myrkytysten aiheuttaja. Saksitoksiini on vesiliukoinen aine, joka on stabiili matalassa pH:ssa, eikä hajoa keittäessä.

Myöhemmin myrkyllisistä leväkukinnoista ja simpukoista on löydetty vähintään 12 erilaista saksitoksiinin johdannaisista, jotka aiheuttavat PSP-myrkytyksiä. Saksitoksiinia ja sen johdannaisia on pystytty syntetisoimaan kemiallisesti (Shimizu & al. 1984). *Alexandrium tamarensis* -kompleksin levillä, sekä *A. catenella*lla on havaittu erilaisia myrkytyskoostumuksia, jotka vaihtelevat alueittain (Hall & al. 1982, Boyer & al. 1985, Whitefleet-Smith & al. 1985). Ympäristöolosuhteet kuten ravinteet ja lämpötila vaikuttavat levän myrkytyspitoisuuteen, mutta eivät myrkytyskoostumukseen, joka näyttää olevan geneettisesti määrätynyt (Boyer & al. 1987).

PSP-myrkyt ovat nopeavaikutteisia hermomyrkyjiä, jotka vaikuttavat tukkimalla hermosolujen Na<sup>+</sup>-kanavat ja siten estävät hermoimpulssien kulun. Ihmisellä oireet alkavat 5-30 minuutin kuluttua myrkytymisestä pisteleillä tuntemuksilla suun alueella. Pistelevät tuntemukset leviävät raajoihin noin 4-6 tunnin kuluessa. Lisäksi potilaalla esiintyy pahoinvointia, huimausta ja vaikeuksia kontrolloida lihaksia. Kuoleman aiheuttaa hengityksen pysähtyminen noin 2-12 tunnin kuluessa. Myrkytysten ei ole havaittu aiheuttavan kroonisia oireita (Schantz 1971).

Ihmiselle hengenvaarallista myrkytyspitoisuutta ei tunneta. Myrkytystapausten perusteella tehdyt arviot vaihtelevat muutamasta sadasta µg:sta yli 10 000 µg:aan myrkyä. Runsaasti simpukoita käyttävillä rannikon asukkailla voi esiintyä jonkin asteista immuniiteettia (Graneli 1987).

## 2.3. Esiintyminen Itämeressä

PSP-myrkytyksiä aiheuttavista lajeista meillä esiintyy *Alexandrium tamarensis* -kompleksi. Sen taksonomia on vielä selkiytymätöntä ja käytössä on useita päällekkäisiä nimeämiskäytäntöjä. *A. tamarensis* -kompleksiin katsotaan kuuluvaksi aiemmin seuraavilla nimillä kutsuttuja leviä: *Gonyaulax tamarensis*, *G. excavata*, *G. tamarensis* var. *tamarensis*, *G. tamarensis* var. *excavata*, *Protogonyaulax tamarensis*, *P. excavata* (Graneli

1987). *Gonyaulax tamarensista* ja *G. excavata* ei pystytä erottamaan eri lajeiksi morfologisten ominaisuuksien perusteella vaan kyse on samasta lajista. (Møestrup & Hansen 1988). *A. tamarensis*ksen levinneisyys ulottuu Skagerrakiin asti ja se esiintyy satunnaisesti Kattegatin alueella (Tangen 1983a, Edler & al. 1984). Tällä alueella siitä on käytetty nimeä *G. excavata*. Itämeren (Suomenlahti) alueelta on löydetty *A. tamarensis* -kompleksiin kuuluva kysti (Dale 1988) (kuva 5a).

PSP-myrkkyjä on havaittu Skagerrakin alueelta mm. Tanskan, Ruotsin ja Norjan rannikoilta (Sakshaug & Jensen 1971, Underdal & al. 1980, Tangen 1983a, Langland & al. 1984, Yndestad & Underdal 1985, Møestrup & Hansen 1988). PSP-myrkytystapauksista on havaintoja Norjan rannikoilta 1960-luvulta lähtien, mm. Skagerrakin alueelta Oslon vuonosta ja länsirannikolta (Tangen 1983a, 1983b, Langland & al. 1984). Lähimmät havainnot myrkyllisistä *Alexandrium tamarensis* -kompleksin (*G. excavata*) kukinnoista ovat Norjan etelärannikolta (Tangen 1983a). Oslon vuonosta kerätyistä *A. tamarensis* -kysteistä tehdyt kasvatukset ovat olleet myrkyllisiä (Dale 1977).

### 3. DSP (DIARRHETIC SHELLFISH POISONING)

#### 3.1. Yleistä

DSP-myrkytykset ovat vähemmän tunnettuja ja oireiltaan epäselvempiä kuin PSP-tapaukset. Euroopassa DSP-tapausten kaltaisia myrkytystapauksia on havaittu mm. Hollannin rannikolla 1960-luvulta lähtien, kun sinisimpukoiden (*Mytilus edulis*) käyttö ravinnoksi on aiheuttanut sairastapauksia (Kat 1979, 1983a, 1983b, 1984, 1985, 1987, 1989, Kat & al. 1982). Vasta 1980-luvulla Japanissa havaittiin myrkytysten aiheuttajana olevan levä *Dinophysis fortii* (Yasumoto & al. 1980c). Myrkytysten aiheuttaja pysyi tuntemattomana johtuen myrkytysoireiden heikkoudesta ja epämääräisyydestä, minkä vuoksi myrkytyksiä pidettiin ruokamyrkytyksinä, vatsatauteina yms. DSP-myrkytysten ei tiedetä aiheuttaneen kuolemantapauksia.

Hollannin rannikolla vuosina 1976, 1979, 1981, 1986 ja 1987 puhjenneet DSP-myrkytykset olivat *Dinophysis acuminata* -kukintojen aiheuttamia (Kat 1979, 1983a, 1983b, 1984, 1985, 1988, 1989, Kat & al. 1982). Myrkytysten aikana kukinnoissa on esiintynyt myös potentiaalisesti myrkyllistä *Prorocentrum minimum* -levää, joka aiheuttaa venerupin-myrkytyksiä (s. 29), mutta myrkytykset ovat olleet todennäköisesti DSP-tapauksia. Sinisimpukoihin kertyneet myrkyt poistuivat yleensä noin kuukauden kuluessa kukinnan loputtua (Kat 1983a, 1983b, 1984, Kat & al. 1982). *D. acuminata* -kukinnat ovat aiheuttaneet DSP-myrkytystapauksia myös Ranskan, Espanjan ja USA:n rannikoilla (Campos & al. 1982, Lassus & al. 1985, Marcaillou-Le Baut & al. 1985, Maranda & Shimizu 1987, Fraga & al. 1988).

Levien tuottamia myrkyjä kertyy simpukoihin, joiden käyttö ravinnoksi aiheuttaa myrkytyksen. Myrkyt aiheuttamia vaikutuksia simpukoille ja muille selkärangattomille ei tunneta, mutta myrkyjä alkaa kertyä simpukoihin leväkonsentraation ollessa jopa alle 200 solua/l (Yasumoto & al. 1980c). Todennäköisesti ne ovat myrkyllisiä kaloille, linnuille ja kotieläimille, mutta yhtään tapusta ei tunneta.

#### 3.2 Myrkyt ja myrkytysoireet

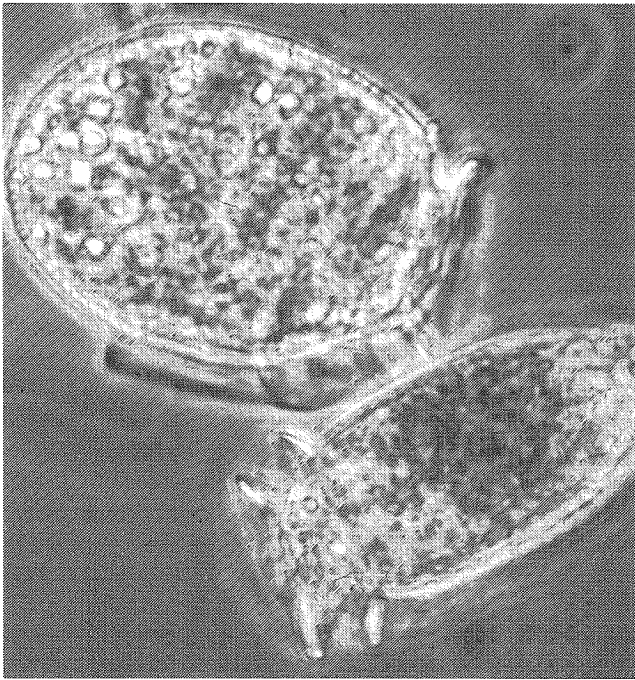
DSP-myrkytyksiä aiheuttavat okadahappo ja sen johdannaiset, dinofysistoksiinit, jotka ovat erään rasvahapon (C38) polyeetterijohdannaisia (Fredriksson 1985).

DSP-myrkytysoireet ovat heikkoja ja vaihtelevia, mikä vaikeuttaa syyn selvittämistä. Oireeton vaihe kestää 0.5-12.0 tuntia, minkä jälkeen esiintyy pahoinvointia, ripulia ja vatsakipuja. Myrkytys kestää korkeintaan kolme vuorokautta. DSP-myrkkyjen aiheuttamia kuolemantapauksia ei tunneta (Kat 1983a). Säännöllisesti simpukoita syöville, kuten rannikon asukkaille, voi kehittyä vastustuskykyä DSP-myrkkyjä vastaan (Fredrikson 1985).

Myrkytystapausten perusteella on laskettu ihmisille oireita aiheuttavaksi myrkky-määräksi 12 MU. Simpukat voivat sisältää myrkkyä maksimaalisesti n. 5 MU/100 g simpukan lihaa (Yasumoto & al. 1984).

### 3.3. Esiintyminen Itämeressä

DSP-myrkytyksiä aiheuttavista *Dinophysis*-lajeista meillä esiintyy *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* ja *D. norvegica*. *Dinophysis*-solut ovat yksittäisiä, kookkaita ja pallonmuotoisia. Edestä päin ne ovat vahvasti litistyneitä. Solua ympäröi tukeva kahdesta osasta muodostunut selluloosapanssari, jonka pitkittäis- ja poikittaisuurteiden reunat ovat laajentuneet siipimäisiksi lisäkkeiksi (kuvat 4 ja 5b, c, d).



Kuva 4. *Dinophysis acuminata* -yksilöitä Suomenlahdelta otetusta näytteestä. (Suurennos 500 x. Kuva M. Hut-tunen).

*D. acuminata* on Itämeressä yleinen planktinen laji, joka esiintyy koko Itämeren alueella (Edler & al. 1982). Sen tiedetään aiheuttaneen myrkytystapauksia Euroopassa ja Yhdysvalloissa (Campos & al. 1982, Lassus & al. 1985, Marcaillou-Le Baut & al. 1985, Maranda & Shimizu 1987, Fraga & al. 1988, Kat 1988).

*D. acuta* esiintyy varsinaisen Itämeren eteläosassa ja Kattegatin alueella (Edler & al. 1982). *D. acuta* -kukinta aiheutti todennäköisesti Norjan rannikolla 1971 havaittujen myrkyllisten simpukoiden esiintymisen (Kat 1983b).

*D. norvegica* esiintyy koko Itämeren alueella (Edler & al. 1982). Pohjois-Amerikan itärannikolla (New York) ovat *D. norvegica* -kukinnat aiheuttaneet DSP-myrkytystapauksia (Freudenthal & Jijina 1985).

DSP-myrkytyksiä ovat aiheuttaneet Skagerrakin ja Kattegatin alueella kukinnat, joissa esiintyy *D. acuta*-, *D. acuminata*-, *D. norvegica* -leviä. Tapauksista ei ole pystytty selvittämään mikä levistä on aiheuttanut myrkytykset. DSP-myrkytystapauksia on havaittu Norjan etelärannikolla jo vuodesta 1968 alkaen. Skagerrakin alueella Oslon vuonossa havaittiin 1970-luvun alussa ja vuonna 1984 DSP-tapauksia, jotka johtivat useisiin sairastumisiin (Tangen 1983a, Dahl & Yndestad 1985, Underdal & al. 1985, Underdal & Yndestad 1985). Lähimmät DSP-tapaukset on havaittu Ruotsin länsirannikolla Kattegatin alueella. Siellä ilmeni DSP-myrkkypitoisuuksia simpukanviljelyalueella syksyllä 1984 *Dinophysis* -kukinnan aikana (*D. acuta*, *D. acuminata*, *D. norvegica*). Viljelty simpukat aiheuttivat sadoille ihmisille myrkytysoireita. Hiirikokeissa simpukoiden myrkkypitoisuudeksi saatiin yli 170 MU/kg simpukan lihaa. Myrkkypitoisuudet säilyivät simpukoissa korkeina jopa 10 kuukautta, mihin on mahdollisesti vaikuttanut veden alhainen lämpötila. (Fredriksson 1985, Krogh & al. 1985, Edler 1987). Samalla alueella havaittiin DSP-myrkkypitoisuuksia simpukoissa myös vuosina 1985 ja 1986 (Edler 1987).

#### 4. VENERUPIN (VSP)

Venerupin-myrkytyksiä aiheuttanut myrkky löydettiin simpukoista (*Venerupis semidecussata*). Simpukoiden sisältämä myrkky keräytyi niihin ravinnon mukana myrkyllisestä dinoflagellaatista *Prorocentrum minimum* var. *mariae-lebouriae* (Okaichi & Imatomi 1979).

Venerupin aiheutti mahdollisesti Japanissa vuonna 1942 myrkytyspidemian, jonka johdosta yli 100 ihmistä kuoli. Potilailla oli maksavaurioita, verenvuotoja, tiedottomuutta ja lopuksi potilaat vajosivat koomaan. Potilaat kuolivat 1-2 vuorokauden kuluessa myrkytymisestä elimistöön. Levän myrkyllisyys on todettu hiirikokeilla, ja ohutkerroskromatografia-menetelmällä on kukinnasta löydetty kaksi myrkyllistä ainetta (Okaichi & Imatomi 1979). Myrkytysoireet muistuttavat DSP-myrkytyksiä ja niiden erottaminen toisistaan on vaikeaa.

*Prorocentrum minimum* on lämpimän veden laji, jonka esiintyminen Itämeressä ulottuu Kattegatin alueelle ja varsinaisen Itämeren eteläosaan (Edler & al. 1982, 1984, Kimor & al. 1985) (kuva 5e). Solut ovat yksittäiset, pyöreähköt, sivuilta hieman litistyneet ja kaksiosaisen panssarin ympäröimät. Laji havaittiin ensimmäisen kerran Skandinavian vesillä massaesiintymän aikana vuonna 1979. Ensimmäinen todennäköinen VSP-tapaus Euroopassa raportoitiin samana vuonna Norjassa, kun 41 ihmistä sairastui VSP-oireisiin (Tangen 1980, 1983b). Laji on sen jälkeen voimakkaasti levinnyt Itämeressä pohjoiseen. Kattegatissa se havaittiin ensimmäisen kerran 1981 ja vuonna 1984 siitä tehtiin havainto Gotlannin alueelta (Tangen & Edler 1987). Portugalin rannikolla on havaittu myrkyllisiä *P. minimum* -kukintoja (Silva 1985).

#### 5. NSP (NEUROTOXIC SHELLFISH POISONING)

NSP-myrkytyksiä aiheuttaa *Ptychodiscus breviksen* (*Gymnodinium breve*) tuottama myrkky. Myrkky koostuu kahdesta myrkyllisestä polyeetterin kaltaisesta aineesta, joista toinen on hermomyrkky ja toinen hemolyyttinen myrkky (Baden 1983). Myrkkyä konsentroiden simpukoiden syöminen on aiheuttanut myrkytystapauksia. Levää ei ole esiintynyt Itämeressä.

NSP-myrkyt estävät hermoimpulssien kulun hermosoluissa, ja niiden aikaansaamat oireet muistuttavat PSP-myrkytystä. Hiirille myrkky aiheuttaa levottomuutta, takaraajojen halvauksia, kyyneleritystä, ripulia ja hengitysvaikeuksia. Kuoleman aiheuttaa hengityksen pysähtyminen. Ihmisillä oireina on suun alueella ja sormissa pisteleviä tunteuksia, kylmiä ja kuumia aaltoja sekä ripulia. NSP-myrkytysten ei tiedetä aiheuttaneen kuolemantapauksia (Baden 1983).

## 6. CIGUATERA

Ciguatera on trooppisille alueille tyypillinen toksisten dinoflagellaattien aiheuttama myrkytys. Myrkytyksiä aiheuttavat koralliriutoilla elävät kalat, jotka ovat konsentroineet levämyrkkyä joko suoraan levistä tai eläinplanktonin ja simpukoiden kautta (Withers 1982, Baden 1983). Ciguatera-myrkytykset ovat aiheuttaneet useita kuolemantapauksiin johtaneita epidemioita. Myrkytykset ovat tapahtuneet trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla. Muualla ilmenneet myrkytykset ovat johtuneet tropiikin tuontikalasta.

Vasta 1970-luvulla löydettiin ciguatera-myrkytysten aiheuttaja, joka oli levä *Gambierdiscus toxicus*. Levästä eristetyt myrkyt olivat samoja kuin ciguateraa aiheuttavissa kaloissa (Scheuer & al. 1967, Bagnis & al. 1980, Yasumoto & al. 1980a). Myöhemmin myös *Prorocentrum liman* on havaittu tuottavan ciguatera-myrkkyä (Yasumoto & al. 1980c), sekä *P. mexicanum*, *Gonyaulax polyedra* ja *Gymnodinium sanguineum* aiheuttavan ciguatera-myrkytyksen kaltaisia oireita (Tindall & al. 1984). *Gonyaulax polyedra* esiintyy satunnaisesti Kattegatissa ja varsinaisen Itämeren eteläosassa (Edler & al. 1982).

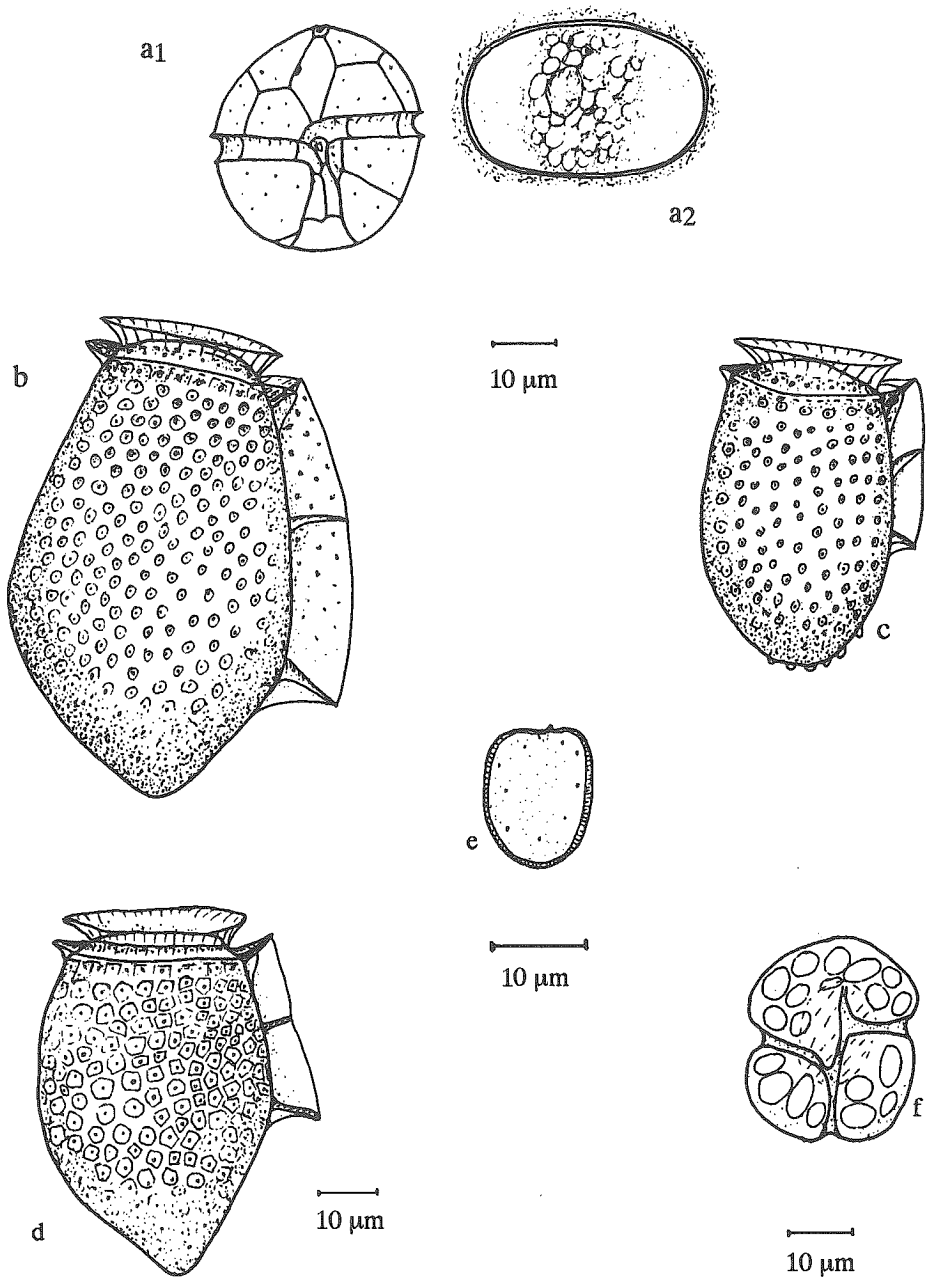
*Gonyaulax toxicuksesta* on eristetty kaksi myrkyllistä ainetta: rasvaliukoinen ciguatera ja vesiliukoinen matotoksiini. (Yasumoto & al. 1971). Ciguatera-myrkky on rasvaliukoinen aine, joka aiheuttaa hermo- ja suolisto-oireita. Potilaalla on aluksi useita tunteja kestäviä suolisto-oireita sekä hermostollisia häiriöitä, jotka saattavat kestää useita viikkoja, jopa kuukausia. Matotoksiinin aiheuttamat oireet vastaavat ciguateran aiheuttamia, mutta ovat voimakkaampia. Myrkyt aiheuttavat patologisia muutoksia sydämessä, vatsassa ja imukudoksissa. Letaaleissa myrkytystapauksissa kuolema aiheutuu hengityksen pysähtymisestä (Miller & Tindall 1985, Terao & al. 1988). Ciguatera-myrkytyksen oireet riippuvat maantieteellisestä alueesta ja kalalajista, jonka välityksellä myrkky saadaan (Chretien & al. 1981).

## 7. GYRODINIUM AUREOLUM -MYRKYTYS

*Gyrodinium aureolum* -kukinnat ovat aiheuttaneet kalojen ja pohjaeläinten massa-kuolemia. Kukinnat yhdistettiin massakuolemiin 1970-luvulla, mutta myrkky ja sen vaikutusmekanismi olivat edelleen tuntemattomia (Bullock & al. 1985, Turner & al. 1987).

Myrkyllisten levien vaikutuksesta kalat tulevat rauhattomiksi, niiden aktiivisuus sekä hengitystiheys lisääntyvät ja ne voivat haukkoa happea pinnalta. Kalojen kidukset vaurioituvat, mm. kidusten pintakerros tuhoutuu, kidukset ovat turvonneita ja niissä on havaittavissa kuolioita. Samankaltaisia vaurioita on havaittavissa ruuansulatuskanavassa. Vaurioiden johdosta kalojen hapenotto kyky heikkenee ja ne kuolevat hapen puutteeseen. Akvaariokokeissa oireet alkavat noin puolen tunnin kuluttua kalan joutumisesta leväpitoiseen veteen ja kuolema seuraa vajaan tunnin kuluessa (Graneli 1987, Turner & al. 1987).

Ensimmäinen *G. aureolum* -kukinta havaittiin Euroopassa 1966, jolloin kukinta aiheutti kalojen massakuoleman Norjan rannikolla (Bøhle 1985). Sen jälkeen Skagerrakin alueella *G. aureolum* -kukinnat ovat aiheuttaneet kalakuolemia vuosina 1976, 1981, 1982



Kuva 5. Itämeren, lähinnä Kattegatin ja Skagerrakin alueella myrkytyksiä aiheuttaneita panssari-siimalevälajeja.

a: *Gonyaulax tamarensis* l. *Alexandrium tamarensis* -kompleksi (Dodge 1982) a<sub>1</sub>) yksilö ventraali-puolelta a<sub>2</sub>) lepomuoto (kysti) b: *Dinophysis acuta* (Norris & Berner 1970, ks. Dodge 1982) c: *Dinophysis acuminata* (Norris & Berner 1970, ks. Dodge 1982) d: *Dinophysis norvegica* (Dodge 1982) e: *Protocentrum minimum* (Dodge 1982) f: *Gynodinium aureolum* (Ballantine & Smith 1973, ks. Dodge 1982).

ja 1983 (Tangen 1977, Dahl & al. 1982, Lindahl 1983, 1986, Dahl & Danielson 1985, Rex & Rex 1985, Richardson & Kullenberg 1987). *G. aureolum* levinneisyys ulottuu Kattegatin alueelle, missä ensimmäinen kukinta havaittiin vuonna 1981 (Edler & al. 1982, 1984). Kukintoja on muualla Euroopassa havaittu mm. Englannin rannikolla (Ayres & al. 1982) (kuva 5f).

## 8. ITÄMEREN ALUEELLA HAVAITUISTA LEVÄMYRKYISTÄ JA -MYRKY-TYKSISTÄ

Meriveden suolapitoisuuden väheneminen rajoittaa useiden myrkyllisiä kukintoja aiheuttavien dinoflagellaattien esiintymistä, minkä johdosta niiden esiintyminen rajoittuu useissa tapauksissa Itämeren eteläosiin. Dinoflagellaattien aiheuttamia myrkytystapauksia ei ole tähän mennessä havaittu Suomen rannikoilla.

PSP-myrkytyksiä aiheuttava *Alexandrium tamarensis* -kompleksi esiintyy Skagerrakin ja Kattegatin alueella. Muita PSP-myrkytyksiä aiheuttavia leviä ei esiinny Itämeren alueella (Tangen 1983a, Edler & al. 1984). PSP-myrkyistä ja myrkytystapauksista on havaintoja Skagerrakin alueelta 1960-luvulta lähtien (Sakshaus & Jensen 1971, Underdal & al. 1980, Tangen 1983a, 1983b, Langland & al. 1984, Yndestad & Underdal 1985, Møestrup & Hansen 1988).

DSP-myrkytyksiä aiheuttavista lajeista esiintyy koko Itämeren alueella *Dinophysis acuminata* ja *D. norvegica*, sekä varsinaisen Itämeren eteläosassa *D. acuta* (Edler & al. 1982). *Dinophysis*-kukintojen aiheuttamia DSP-myrkyjä ja myrkytystapauksia on havaittu ainoastaan Kattegatin ja Skagerrakin alueella (Tangen 1983a, Dahl & Yndestad 1985, Underdal & Yndestad 1985). Esimerkiksi 1984 aiheuttivat Ruotsin länsirannikolla viljeltyt simpukat sadoille ihmisille myrkytysoireita (Fredriksson 1985, Krog & al. 1985, Edler 1987).

Venerupinia (VSP) aiheuttava *Prorocentrum minimum* esiintyy Skagerrakin ja Kattegatin alueella, sekä varsinaisen Itämeren eteläosassa (Edler & al. 1982, 1984, Kimor & al. 1985). Norjan rannikolta on raportoitu VSP-tapaus vuonna 1979 (Tangen 1980, 1983b).

Kalakuolemia aiheuttavan *Gyrodinium aureolum* levinneisyys rajoittuu Skagerrakiin ja Kattegatiin. (Edler & al. 1982, 1984). Skagerrakissa kukinnat ovat aiheuttaneet useita kalojen massakuolemia (Tangen 1977, Dahl & al. 1982, Lindahl 1983, 1986, Dahl & Danielson 1985, Rex & Rex 1985, Richardson & Kullenberg 1987).

## 9. KIRJALLISUUS

- Alam, M., Ikawa, M., Sasner, J.J. & Sawyer, P.J. 1973: Purification of *Aphanizomenon flos-aquae* toxin and its chemical and physiological properties. - *Toxicon* 11:65-72.
- Alam, M., Shimizu, Y., Ikawa, M. & Sasner, J.J. 1978: Reinvestigation of the toxins from the blue-green alga, *Aphanizomenon flos-aquae*, by a high performance chromatographic method. - *J. Environ. Sci. Health A13*(7):493-499.
- Anderson, D.M. 1979: Toxic dinoflagellate blooms in the Cape Cod region of Massachusetts. - Teoksessa: Taylor, D. L. & Seliger, H. H. (toim.) *Toxic dinoflagellate blooms*: 145-150. Elsevier/ North Holland, New York.
- Anderson, D.M. 1984: Shellfish toxicity and dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms. - *American Chemical Society (ACS) Symp. Ser.* 262:125-138.



- Armstrong, I.H., Coulson, J.C., Hawkey, P. & Hudson, M.J. 1978: Further mass seabird deaths from paralytic shellfish poisoning. - *British Birds* 71:58-68.
- Ayres, P.A. 1975: Mussel poisoning in Britain with special reference to paralytic shellfish poisoning. Review of cases reported 1814-1968. - *Environ. Health* 83:261-265.
- Ayres, P.A. & Cullem, M. 1978: Paralytic shellfish poisoning. An account of investigations into mussel toxicity in England 1968-77. - *Envir. Health* 83:261-265.
- Ayres, P.A., Seaton, D.D. & Tett, P.B. 1982: Plankton blooms of economic importance to fisheries in UK waters 1968-1982. - *ICES C.M./L*:38:1-12.
- Baden, D.G. 1983: Marine food-borne dinoflagellate toxins. - *International Rev. of Cytology* 82:99-150.
- Baden, D.G., Mende, T.J. & Brand, L.E. 1985: Gross-reactivity in immunoassays directed against toxins isolated from *Phytophthora brevis*. - *Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 363-368. Elsevier/North-Holland.*
- Bagnis, R., Chanteau, S., Chungue, E., Hurtel, J.M., Yasumoto, T. & Inoue, A. 1980: Origins of ciguatera fish poisoning: A new dinoflagellate, *Gambierdiscus toxicus* Adachi and Fukuyo, definitively involved as a causal agent. - *Toxicon* 18:199-208.
- Bates, H.A. & Rapoport, H. 1975: A chemical assay for saxitoxin, the paralytic shellfish poison. - *J. Agr. Food Chem.* 23:237-239.
- Bøhle, B. 1985: Foreløpig rapport om undersøkelser vedrørende fiskedød i ørretanlegg på Dirhue, oktober 1966. - *Flødevigen Meldinger* 3: 5-8.
- Boyer, G.L., Sullivan, J.J., Andersen, R.J., Harrison, P.J. & Taylor, F.J.R. 1985: Toxin production in three isolates of *Protogonyaulax* sp. - *Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 281-286. Elsevier/North-Holland.*
- Boyer, G.L., Sullivan, J.J., Andersen, R.J., Harrison, P.J. & Taylor, F.J.R. 1987: Effects of nutrient limitation on toxin production and composition in the marine dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis*. - *Mar. Biol.* 96:123-128.
- Boyer, G.L., Sullivan, J.J., Andersen, R.J., Taylor, F.J.R., Harrison, P.J. & Cembella, A.D. 1986: Use of high-performance liquid chromatography to investigate the production of paralytic shellfish toxins by *Protogonyaulax* spp. in culture. - *Mar. Biol.* 93:361-369.
- Bullock, A.M., Turner, M.F. & Gowen, R.J. 1985: The toxicity of *Gyrodinium aureolum* (abstr.). - *Bulletin Mar. Sci.* 37: 763-764.
- Campos, M.J., Fraga, S., Marino, J. & Sanchez, F.J. 1982: Red tide monitoring programme in NW Spain. Report of 1977-1981. - *ICES C.M./L*:27:1-8 (moniste).
- Carlson, R.E., Lever, M.L., Lee, B.W. & Guire, P.E. 1984: Development of immunoassays for paralytic shellfish poisoning: A radioimmunoassay for saxitoxin. - *American Chemical Society (ACS) Symp. Ser.* 262:181-192.
- Carmichael, W.W., Jones, C.L.A., Mahmood, N.A. & Theiss, W.C. 1985: Algal toxins and water-based diseases. - *CRC Critical Reviews in Environmental Control* 15:275-313.
- Chretien, J.H., Fermaglich, J. & Garagusi, V.F. 1981: Ciguatera poisoning: Presentation as a neurologic disorder. - *Arch. Neurol.* 38: 783.
- Cucci, T.L., Shumway, S.E., Newell, R.C. & Yentsch, C.M. 1985: A preliminary study of the effects of *Gonyaulax tamarensis* on feeding in bivalve molluscs. - *Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 395-400. Elsevier/North-Holland.*

- Dahl, E. & Danielssen, D.S. 1985: Observasjoner på fisk og skalldyr masseforekomsten av *Gyrodinium aureolum* hsten 1981. - Flødevigen Meldinger 3:89-92.
- Dahl, E., Danielssen, D.S. & Bøhle, B. 1982: Mass occurrence of *Gyrodinium aureolum* Hultburt and fish mortality along the southern coast of Norway in September-October 1981. - ICES C.M./L:56:1-14 (moniste).
- Dahl, E. & Yndestad, M. 1985: Diarrhetic shellfish poisoning (DSP) in Norway in the autumn 1984 related to the occurrence of *Dinophysis* spp. - Teoksessa: Anderson, D. M., White, A. W. & Baden, D. G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 495-500. Elsevier/North-Holland.
- Dale, B. 1977: Cyst of the toxic red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* (Braarud) Balech from Oslofjorden, Norway. - Sarsia 69:185-193.
- Dale, B. 1983: Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". - Teoksessa: Fryxell, G. A. (toim.) Survival strategies of the algae: 69-136. Cambridge University Press.
- Dale, B. 1988: Research news - University of Oslo. - Red Tide Newsletter 1:5-6.
- Dale, B. & Yentsh, C.M. 1978: Toxicity in resting cysts of the red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* from deeper water coastal sediments. - Science 201:1223-1224.
- Edler, L. 1987: Shellfish poisoning on the Swedish west coast.(abstr.) - Teoksessa: Proceedings: International conference and workshop, The problems of toxic dinoflagellate blooms in aquaculture: 41-42. Sherekin Island, Marine Station, Ireland, 8-13 June 1987.
- Edler, L., Aertebjerg, G. & Graneli, E. 1982: Exceptional plankton blooms in the entrance to the Baltic Sea - the Kattegat and Belt Sea area. - ICES C.M./L:20, 6 s. (moniste).
- Edler, L., Hällfors, G. & Niemi, Å. 1984: A preliminary check-list of the phytoplankton of the Baltic Sea. - Acta Bot. Fennica 128:1-26.
- Escalona de Motta, G., Rodrigues-Costas, I., Tosteson, T.R., Ballantine, D.L. & Dupont Durst, H. 1986: Lysis of red blood cells by extracts from benthic dinoflagellates. - Puerto Rico Health Sci. J. (PRHSJ) 5:133-136.
- Estrada, M., Sanchez, F.J. & Fraga, S. 1984: *Gymnodinium catenatum* (Graham) en las rias gallegas (NO de Espana). - Investigacion Pesquera 48:31-40.
- Fraga, S. 1984: El fitoplankton como fuente de toxicidad en las rias gallegas. - Cuaernos da Area Ciecias Marinas, Seminario de Estudos Galegos 1:209-215.
- Fraga, S., Anderson, D.M., Bravo, I., Reguera, B., Steidinger, K.A. & Yentsh, C.M. 1988: Influence of upwelling relaxation on dinoflagellates and shellfish toxicity in Ria de Vigo, Spain. - Estuar. Coast Shelf. Sci. 27: 349-361.
- Fredriksson, S.O. 1985: Saluförbudet för musslor. - Vår Föda 37:336-342.
- Freudenthal, A.R. & Jijina, J. 1985: Shellfish poisoning episodes involving or coincidental with dinoflagellates. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 461-466. Elsevier/North-Holland.
- Gaard, E. & Poulsen, M. 1988: Blooms of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in a Faroese fjord. - ICES C.M./L:6, 11 s. (moniste).
- Graneli, E. 1987: Dinoflagellat blomningar: Förekomst, orsaker och konsekvenser i marin miljö - en kunskapöversikt. - Statens naturvårdsverk, Rapport 3293:1-133.
- Hall, S., Reichardt, P.B., Neve, R.A., Boyer, G.L. Fix Wichman, C. & Schnoes, H.K. 1982: Studies on the origin and nature of toxicity in alaskan bivalves: toxins from *Protogonyaulax* of the northeast Pacific (abstr.). - J. Shellfish Res. 2:119.
- Hallegraeff, G.M., Steffensen, D.A. & Wetherbee, R. 1988: Three estuarine Australian dinoflagellates that can produce paralytic shellfish toxins. - J. Plankton Res. 10:533-541.

- Hamano, Y., Kinoshita, Y. & Yasumoto, T. 1985: Detection of diarrhetic shellfish toxin using infant mouse. - Teoksessa: Anderson, D. M., White, A. W. & Baden, D. G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 383-388. Elsevier/North-Holland.
- Hokama, Y., Abad, M.A. & Kimura, L.H. 1983: A rapid enzyme-immunoassay for the detection of ciguatoxin in contaminated fish tissues. - Toxicon 21:817-824.
- Hokama, Y., Banner, A.H. & Boylan, D.B. 1977: A radioimmunoassay for the detection of ciguatoxin. - Toxicon 15:371-325.
- Jamieson, G.S. & Chandler, R.A. 1983: Paralytic shellfish poison in sea scallops (*Placopecten magellanicus*) in the West Atlantic. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40:313-318.
- Kat, M. 1979: The occurrence of *Prorocentrum* species and coincidental gastrointestinal illness of mussel consumers. - Teoksessa: Taylor, D.L. & Seliger, H.H. (toim.) Toxic dinoflagellate blooms: 179-182. Elsevier/ North Holland, New York.
- Kat, M. 1983a: Diarrhetic mussel poisoning in the Netherlands related to the dinoflagellate *Dinophysis acuminata*. - Antonie van Leeuwenhoek 49:417-427.
- Kat, M. 1983b: *Dinophysis acuminata* blooms in the Dutch coastal area related to diarrhetic mussel poisoning in the Dutch Waddensea. - Sarsia 68:1-84.
- Kat, M. 1984: Diarrhetic mussel poisoning. Measures and consequences in the Netherlands. - ICES, Special Meeting, C3, 10 s.
- Kat, M. 1985: *Dinophysis acuminata* blooms, the distinct cause of Dutch mussel poisoning. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 73-78. Elsevier/North-Holland.
- Kat, M. 1988: Phytoplankton bloom events in the coastal area of the Netherlands 1973-1984. - ICES C.M./L:5, 9 s (moniste).
- Kat, M. 1989: Toxic and non-toxic dinoflagellate blooms on the Dutch coast. - Teoksessa: Okaichi, T., Anderson, P. M. & Nemoto (toim.) Red tide: Biology, environmental science and toxicology: 73-76. Elsevier/North-Holland.
- Kat, M., Speur, J. & Otte, P.F. 1982: Diarrhetic mussel poisoning in the Netherlands related to the occurrence of *Dinophysis acuminata* September-October. - ICES C.M./E:24, 12 s. (moniste).
- Kimor, B., Moigis, A.G., Dohms, V. & Stienen, C. 1985: A case of mass occurrence of *Prorocentrum minimum* in the Kiel Fjord. - Mar. Ecol. Prog. Ser. 27:209-215.
- Kimura, L.H., Abad, M.A. & Hokama, Y. 1982a: Evaluation of the radioimmunoassay (RIA) for detection of ciguatoxin (CTX) in fish tissues. - J. Fish. Biol. 21:671-680.
- Kimura, L.H., Hokama, Y., Abad, M.A., Oyama, M. & Miyahara, J.T. 1982b: Comparison of three different assays for the assessment of ciguatoxin in fish tissues: radioimmunoassay, mouse bioassay and in vitro guinea pig atrium assay. - Toxicon 20:907-912.
- Kodoma, M., Fukuyo, Y., Ogata, T., Igarashi, T., Kamiya, H. & Matsuura, F. 1982: Comparison of toxicities of *Protogonyaulax* cells of various sizes. - Bull. Japanese Society Sci. Fish. 48:567-571.
- Krogh, P., Edler, L., Graneli, E. & Nyman, U. 1985: Outbreak of diarrhetic shellfish poisoning on the west coast of Sweden. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 501-504. Elsevier/North-Holland.
- Langeland, G., Hasselgård, T., Tangen, K., Skulberg, O.M. & Hjelle, A. 1984: An outbreak of paralytic shellfish poisoning in western Norway. - Sarsia 69:139-221.

- Lassus, P., Bardouil, M., Truquet, I., Le Baut, C. & Pierre, M.J. 1985: *Dinophysis acuminata* distribution and toxicity along the southern Brittany coast (France): correlation with hydrological parameters. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) *Toxic Dinoflagellates*: 159-162. Elsevier/North-Holland.
- Lindahl, O. 1983: On the development of a *Gyrodinium aureolum* occurrence on the Swedish west coast in 1982. - *Mar. Biol.* 77:143-150.
- Lindahl, O. 1986: Offshore growth of *Gyrodinium aureolum* (Dinophyceae) - the cause of coastal blooms in the Skagerrak area? - *Sarsia* 71:1-72.
- Maranda, L. & Shimizu, Y. 1987: Diarrhetic shellfish poisoning in Narragansett Bay. - *Estuaries* 10:298-302.
- Marcaillou-le Baut, C. Lucas, D. & le Dean, L. 1985: *Dinophysis acuminata* toxin: Status of toxicity bioassays in France. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) *Toxic Dinoflagellates*: 485-488. Elsevier/North-Holland.
- Martin, J.L. & White, A.W. 1988: Distribution and abundance of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in the Bay of Fundy. - *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 45:1968-1975.
- McClatchie, S. 1988: Functional response of the euphausiid *Thysanoessa raschii* grazing on small diatoms and toxic dinoflagellates. - *J. Mar. Res.* 46:631-646.
- Miller, D.M. & Tindall, D.R. 1985: Physiological effects of HPLC-purified maitotoxin from a dinoflagellate, *Gambierdiscus toxicus*. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) *Toxic Dinoflagellates*: 375-378. Elsevier/North-Holland.
- Møestrup, O. & Hansen, P.J. 1988: On the occurrence of the potentially toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* (= *Gonyaulax excavata*) and *A. ostenfeldii* in Danish and Faroese waters. - *Ophelia* 28: 195-213.
- Mortensen, A.M. 1985: Massive fish mortalities in Tjaldvik Cove on the Faroe Islands on 10-12 July 1984. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) *Toxic Dinoflagellates*: 165-170. Elsevier/North-Holland.
- Nishitani, L., Hood, R., Wakeman, J. & Chew, K.K. 1984: Potential importance of an endoparasite of *Gonyaulax* in paralytic shellfish poisoning outbreaks. - American Chemical Society (ACS) Symp. Ser. 262:139-149.
- Okaichi, T. & Imatomi, Y. 1979: Toxicity of *Prorocentrum minimum* var. *mariae-lebouriae* assumed to be a causative agent of short-necked clam poisoning. - Teoksessa: Taylor, D.L. & Seliger, H.H. (toim.) *Toxic dinoflagellate blooms*: 385-394. Elsevier/North Holland, New York.
- Prakash, A. 1967: Growth and toxicity of a marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. - *J. Fish. Res. Board Canada* 24:1589-1606.
- Richardson, K. & Kullenberg, G. 1987: Physical and biological interactions leading to plankton blooms: A review of *Gyrodinium aureolum* blooms in Skandinavian waters. - *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer* 187:19-26.
- Rex, B. & Rex, M. 1985: Observationer kring den kraftiga planktonblomningen i Skagerrak i oktober 1981. - *Flødevigen Meldinger* 3:65-74.
- Sakshaug E. & Jensen, A. 1971: *Gonyaulax tamarensis* and paralytic mussel toxicity in Trondheimsfjorden, 1963-1969. - *Det Kongelige Norske Videnskabers Selskap, Skrifter* 15:1-15.
- Sang, J.W.T. & Ming, T.T. 1984: Red tide and paralytic shellfish poisoning in Sabah, Malaysia. - Teoksessa: White, A.W., Anraku, M. & Hooi, K.K. (toim.) *Toxic red tides and shellfish toxicity in southeast Asia. Proceedings of a consultative meeting held in Singapore, 11-14 September 1984*: 35-42.

- Schantz, E. J. 1971: The dinoflagellate poisons. - Teoksessa: Kadis, S., Cieger, A. & Ajl, S. (toim.) Microbial toxins, vol. VII, Algal and fungal toxins: 3-26. Academic Press, New York.
- Schantz, E.J., Lynch, J.M., Vayvada, G., Matsumoto, K. & Rapoport, H. 1966: The purification and characterization of the poison produced by *Gonyaulax catenella* in axenic culture. - *Biochemistry* 5:1191-1195.
- Scheuer, P.J., Takahashi, W., Tsutsumi, J. & Yoshida, T. 1967: Ciguatoxin: Isolation and chemical nature. - *Science* 155:1267-1268.
- Shimizu, Y., Kobayashi, M., Genenah, A. & Ichihara, N. 1984: Biosynthesis of paralytic shellfish toxins. - American Chemical Society (ACS) Symp. Ser. 262:151-160.
- Shumway, S.E., Cucci, T.L., Gainey, L. & Yentsch, C.M. 1985: A preliminary study of the behavioral and physiological effects of *Gonyaulax tamarensis* on bivalve molluscs. - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 389-394. Elsevier/North- Holland.
- Silva, E.S. 1985: Ecological factors related to *Prorocentrum minimum* blooms in Obidos Lagoon (Portugal). - Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 251-258. Elsevier/North- Holland.
- Sommer, H. & Meyer, K.F. 1937: Paralytic shellfish poisoning. - *Arch. Path.* 24:560-598.
- Sommer, H., Whedon, W.F., Kofoed, C.A. & Stohler, R. 1937: Relation of paralytic shellfish poison to certain plankton organisms of the genus *Gonyaulax*. - *Arch. Path.* 24:537-559.
- Sullivan, J.J. & Iwaoka, W.T. 1983: PSP research: recent advances analytical and biochemical studies (abstr.). - *J. Shellfish Res.* 2:114.
- Sullivan, J.J., Simon, M.G. & Iwaoka, W.T. 1983: Comparison of HPLC and mouse bioassay methods for determining PSP toxins in shellfish. - *J. of Food Sci.* 48:1312-1314.
- Tangen, K. 1977: Blooms of *Gyrodinium aureolum* (Dinophyceae) in north European waters, accompanied by mortality in marine organisms. - *Sarsia* 63:123-133.
- Tangen, K. 1980: Brunt vann i Oslofjorden i september 1979, forårsaket av den toksiske *Prorocentrum minimum* og andre dinoflagellater. - *Blyttia* 38:145-158.
- Tangen, K. 1983a: Mussel poisoning and the occurrence of potentially toxic dinoflagellates in Norwegian waters. - *ICES C.M./L*:3.
- Tangen, K. 1983b: Shellfish poisoning and the occurrence of potentially toxic dinoflagellates in Norwegian waters. - *Sarsia* 68:1-7.
- Tangen, K. 1987: Case history - Faroe Islands (abstr.). - Teoksessa: Proceedings: International Conference and Workshop, The Problems of Toxic Dinoflagellate Blooms in Aquaculture: 27. Sherekin Island Marine Station, Ireland, 8-13. June 1987.
- Tangen, K. & Edler, L. 1987: Case history - spreading of *Prorocentrum minimum* in Skandinavian waters. - Teoksessa: Proceedings: International Conference and Workshop, The Problems of Toxic Dinoflagellate Blooms in Aquaculture: 18. Sherekin Island Marine Station, Ireland, 8-13. June 1987.
- Terao, K., Ito, E., Sakamaki, Y., Igarashi, K., Yokoyama, A. & Yasumoto, T. 1988: Histopathological studies of experimental marine toxin poisoning. II. The scute effects of maitotoxin on the stomach, heart and lymphoid tissues in mice and rats. - *Toxicon* 26:395-402.
- Tindall, D.R., Dickey, R.C., Carlson, R.D. & Morey-Gaines, G. 1984: Ciguatoxigenic dinoflagellates from the Caribbean sea. - American Chemical Society (ACS) Symp. Ser. 262:225-240.

- Tosteson, T.R., Ballantine, D.L., Tosteson, C.G., Bardales, A.T., Durst, H.D. & Higerd, T.B. 1986: Comparative toxicity of *Gambierdiscus toxicus*, *Ostreopsis cf. lenticularis*, and associated microflora. - *Mar. Fish. Review* 48:57-59.
- Turner, M.F., Bullock, A.M., Tett, P. & Roberts, R.J. 1987: Toxicity of *Gyrodinium aureolum*: some initial findings. - *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer* 187:98-102.
- Underdal, B., Yndestad, M. & Aune, T. 1985: DSP intoxication in Norway and Sweden, autumn 1984 - spring 1985. - *Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 489-494. Elsevier/North-Holland.*
- Underdal, B., Yndestad, M., Olberg, J.H. & Sorlie, G. 1980: Mytilotoxin in mussels (*Mytilus edulis* L.) from different localities in Norway. - *Sarsia* 65:53-56.
- Yasumoto, T., Hashimoto, Y., Bagnis, R., Randall, J.E. & Banner, A.H. 1971: Toxicity of the surgeonfishes. - *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* 37:724-734.
- Yasumoto, T., Inoque, A., Ochi, T., Fujimoto, K., Oshima, Y., Fukuyo, Y., Adachii, R. & Bagnis, R. 1980a: Environmental studies on a toxic dinoflagellate responsible for ciguatera. - *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* 46:1397-1404.
- Yasumoto, T., Murata, M., Oshima, Y., Matsumoto, G. K. & Clardy, J. 1984: Diarrhetic shellfish poisoning. - *American Chemical Society (ACS) Symp. Ser.* 262:207-214.
- Yasumoto, T., Oshima, Y., Murakami, Y., Nakajima, I., Bagnis, R. & Fukuyo, Y. 1980b: Toxicity of benthic dinoflagellates found in coral reef. - *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* 46:327-331.
- Yasumoto, T., Oshima, Y., Sugawara, W., Fukuyo, Y., Oguri, H., Igarashi, T. & Fujita, N. 1980c: Identification of *Dinophysis fortii* as the causative organism of diarrhetic shellfish poisoning. - *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* 46:1405-1411.
- Yentsch, C.M. 1984: Paralytic shellfish poisoning, an emerging perspective. - *American Chemical Society (ACS) Symp. Ser.* 262:9-23.
- Yndestad, M. & Underdal, B. 1985: Survey of PSP in mussels (*Mytilus edulis* L.) in Norway. - *Teoksessa: Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, D.G. (toim.) Toxic Dinoflagellates: 457-460. Elsevier/North-Holland.*
- Watras, C.J., Garcon, V.C., Olson, R.J., Chisholm, S.W. & Anderson, D.M. 1985: The effect of zooplankton grazing on estuarine blooms of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. - *J. Plankton Res.* 7:891-908.
- White, A.W. 1977: Dinoflagellate toxins as probable cause of an Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) kill, and pteropods as apparent vector. - *J. Fish. Res. Board Can.* 34:2421-2424.
- White, A.W. 1979: Dinoflagellate toxins in phytoplankton and zooplankton fractions during a bloom of *Gonyaulax excavata*. - *Teoksessa: Taylor, D.L. & Seliger, H.H. (toim.) Toxic dinoflagellate blooms: 381-384. Elsevier/North-Holland.*
- White, A.W. 1980: Recurrence of kills of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) caused by dinoflagellate toxins transferred through herbivorous zooplankton. - *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 37:2262-2265.
- White, A.W. 1981a: Marine zooplankton can accumulate and retain dinoflagellate toxins and cause fish kills. - *Limnol. Oceanogr.* 26:103-109.
- White, A.W. 1981b: Sensitivity of marine fishes to toxins from the red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* and implications for fish kills. - *Mar Biol.* 65:255-260.
- White, A.W. 1982: Toxic dinoflagellate blooms in the Bay of Fundy since 1944. - *ICES C.M/L:13, 6 s. (moniste).*

- White, A.W. & Lewis, C.M. 1982: Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39:1185-1194.
- Whitefleet-Smith, J.L., Divan, C.L., Schantz, E.J. & Schnoes, H.K. 1985: Distribution of paralytic toxins in California shellfish. - Toxicon 23:346-349.
- Withers, N.W. 1982: Ciguatera fish poisoning. - Ann. Rev. Med. 33:97-111.











**ISBN 951-47-3465-3**  
**ISSN 0356-0023**

---

**Merentutkimuslaitos**  
**PL 33**  
**00931 HELSINKI**

**Puh. 90-331 044**  
**Tlx 125 731 imr sf**  
**Fax 90-331 376**

---

**Havsforskningsinstitutet**  
**PB 33**  
**00931 HELSINGFORS**

**Finnish Institute of**  
**Marine Research**  
**P.O.Box 33**  
**SF - 00931 HELSINKI**  
**Finland**